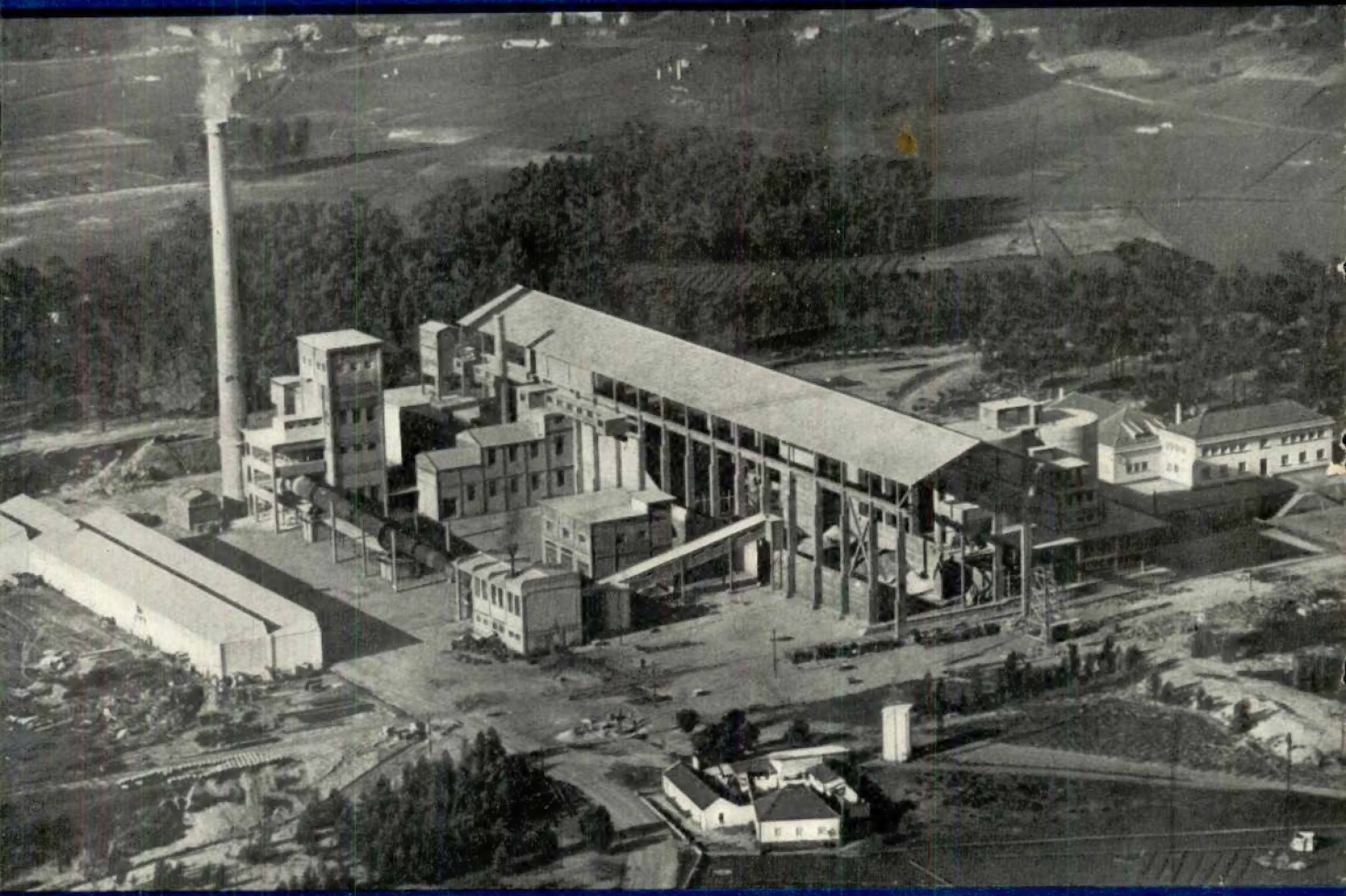
TÉCNICA



REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 200 - Março - 1950

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMÉRCIO, 56, 3.º
LISBOA

Mais quilometragem
Mais comodidade
Mais segurança

Cimento «Liz» hidrofugado «N»

PRÓPRIO PARA

IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS

REBOCOS, FUNDAÇÕES, PAREDES, ETC.

Substitue com vantagem de ordem técnica e económica todos os impermeabilizadores conhecidos.

Em sacos de papel de 50 quilos

Peçam instruções para o seu emprêgo

Sede: Rua do Cais de Santarém, 64, 1.º — LISBOA
Filial: Rua de Santo António, 190-A, 1.º — PORTO

Agentes em todo o País

NÚMERO
200
Março — 1950

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N./ TEL. 70144 (linha 50)

DIRECTOR
JOSÉ MARIA AVILLEZ
ADMINISTRADOR
LUÍZ DA CUNHA FERRAZ
SECRETÁRIO
MANUEL MARQUES MAIA
BIBLIOTECÁRIA
MARIA HELENA PORTUGAL DA SILVEIRA
CORPO REDACTORIAL
ARMANDO COUTINHO DE LENCASTRE
JÚLIO FERREIRA LOPES
MARGELINO ABREU COSTA
HENRIQUE CANALES PEREIRA

NÚMERO AVULSO 9$00

ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	25$00	45$00	85$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	50$00	90$00

EDITOR E PROPRIETARIO
ASS. DOS ESTUD. DO I. S. T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.DA
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

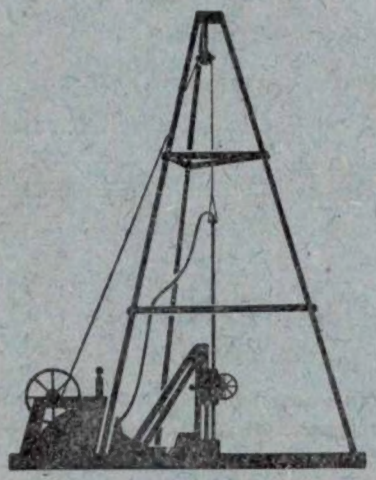
SUMÁRIO

CAPA — Vista geral da Fábrica «Cibra», em Pataias. Propriedade da Companhia Portuguesa de Cimentos Brancos

		Págs.
Materiais de construção e ensino	Eng.º José de Lucena	931
Estudo do circuito oscilante com bobina de núcleo de ferro saturado em regime forçado	Eng.º Manuel José de Abreu Faro	935
Aguas de piscinas	Eng.º Joaquim José Salgado	947
Absorpção de gases	Eng.º Luís A. de Almeida Alves	965
A Mecânica do Solo e as suas aplicações	Eng.º Manuel Pimentel Pereira dos Santos	971
Processos unitários da química orgânica — Polimerização	Eng.º Manuel Chagas Roquette	990
Biblioteca		998

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

SONDAGENS RODIO, Limitada



RODIO

Sondagens geológicas, estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geotécnico

Pesquisas de água.

Consolidação e impermeabilização de terrenos e de obras por meio de injecções de cimento, produtos químicos, argila activada, emulsão betuminosa Shellperm, etc.

Estacas de betão armado, sistema **Ródio** moldadas no solo sem trepidações.

Rebocos comprimidos por «**cement gun**»

Fundações em terrenos difíceis quer por congelação artificial, quer por abaixamento do lençol de água.

As melhores referências no país e no estrangeiro

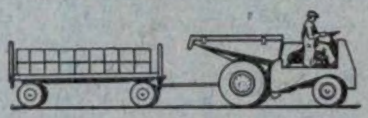
Sócio gerente residente em Portugal:
Walter Weyermann, Eng. civil

R. S. Mamede ao Caldas, 22, 3.º — LISBOA

Tel. 2 8685

MUIR-HILL DUMPER

TRANSPORTADORES BASCULANTES COM COMANDO ROTATIVO



O método mais económico de transportar materiais a granel, como podem comprovar as unidades já ao serviço em Portugal

///

OS REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

HENRY M. F. HATHERLY, L.DA

RUA DO COMÉRCIO, 8

Telefones 2 2001 e 2 6633 — LISBOA

vos fornecerão todos os detalhes e as suas propostas para entregas rápidas

TÉCNICA

JOSÉ MARIA AVILLEZ
DIRECTOR

ANO XXVI - N.º 200 MARÇO 1950

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E ENSINO

PELO ENG.º CIVIL (I. S. T.) JOSÉ DE LUCENA

C. D. 378.12:691

«É indiscutìvelmente útil, mesmo indispensável, a aproximação entre a Escola e os seus antigos alunos, na medida em que estes, através da sua experiência profissional, podem contribuir para o progresso daquela, no que respeita aos seus programas e métodos de ensino (1).

Nesta convicção, apresento a seguir alguns pontos de vista acerca da orientação do ensino superior dos «materiais de construção», *os quais assentando numa indispensável mas discutível sistematização lógica, são produto da verificação de múltiplas deficiências e lacunas da minha própria formação técnica neste aspecto, à saída da Escola.*

Não se pode, evidentemente, abstrair do carácter pessoal das apreciações adiante feitas; no entanto — e isto é que é importante sublinhar — através das considerações que se seguem, pretendi cingir-me às condições impostas apenas pela análise racional do problema».

I — A finalidade que se atribuir ao ensino dos «*materiais de construção*» numa escola superior de engenharia condiciona, como é evidente, a estructuração desse ensino e, por consequência, a formação dos alunos, neste aspecto da sua futura actividade profissional. Interessa, assim, e antes de qualquer outra consideração, definir com clareza essa finalidade.

Sempre que se torna necessário ao engenheiro projectar um elemento qualquer (ou um conjunto de elementos) de uma construção, há a considerar três etapes distintas na resolução do problema:

1.ª — Determinação da «*finalidade*» do elemento a projectar, ou seja de todos os esforços e acções físico-químicas que sobre ele virão a actuar.

2.ª — *Escolha do material mais indicado à construção do elemento em estudo, considerando simultâneamente os factores «resistência aos esforços e acções físico-químicas anteriormente estabelecidos», «deformação normal», «custo» e também, por vezes, «aspecto estético».*

(1) Pouco ou nada se tem feito no sentido de se promover esta aproximação que, podendo efectivar-se sob variadíssimas formas (conferências, inquéritos, etc.), tanto poderia contribuir para o progresso da Escola.

3.ª — Estabelecimento da forma e dimensões de elemento a projectar, de modo que este trabalhe em condições de satisfazer, tão completamente quanto possível, às solicitações e acções fixadas nas duas etapes anteriores.

A primeira e terceira etapes constituem, na sua quase totalidade, objecto dos métodos e fórmulas da Mecânica Aplicada (Resistência de Materiais e Estabilidade), pelo que não serão abordadas aqui. Há, pois, que considerar a segunda etape indicada — *estudo profundo das propriedades técnico-económicas dos materiais de construção em relação ao fim a que se destinam* — e é este, em síntese, o objectivo do ensino superior dos «*materiais de construção*».

II — Como seguimento lógico do que atrás se referiu, poderá afirmar-se que a primeira *grande observação* a fazer, no ínicio do estudo dos «*materiais de construção*», é a de que este, sobretudo quando ministrado numa escola de grau superior, deverá basear-se num predominante «*carácter nacional*» — com o que se pretende significar que todos os aspectos desse estudo deverão ser apresentados e aprofundados de modo a despertarem e desenvolverem nos estudantes o seu maior interesse, digamos mesmo, a sua paixão pela análise dos recursos e possibilidades nacionais no que respeita à exploração, fabricação e aplicação nacionais dos materiais de construção. Num país que, como o nosso, dispõe de reduzidos recursos naturais, não pode admitir-se o desperdício, total ou parcial, de qualquer desses recursos — e por isso o problema atrás enunciado constitui um ponto de importância capital, decisiva, que à Engenharia Civil compete analisar e resolver, devendo, portanto, ser insistentemente chamados para ele o interesse e a atenção dos alunos.

Ao abordar-se, assim, o que poderemos, em rigor, denominar «*problema nacional dos materiais de construção*», convirá esquematizá-lo da seguinte forma:

1.º — O que já se encontra realizado nos campos da exploração, fabricação e aplicação dos materiais de construção.

2.º — O que ainda falta e é urgente realizar nos mesmos campos.

Embora seja mais fácil — o que não significa que tenha interesse nulo — estructurar o estudo dos materiais sobre o primeiro aspecto referido, não restam dúvidas de que é para o segundo aspecto que se deve chamar, dum modo especial, a atenção dos estudantes. Na realidade, o aperfeiçoamento das industrias de materiais de construção já existentes, a relacionação entre o nível técnico-económico desses empreendimentos e as possibilidades do país, a instalação de indústrias para a fabricação de novos materiais de construção, e, ainda, a elevação do nível técnico-económico da utilização dos materiais de construção — eis alguns dos muitos problemas cujo enunciado e solução urgente deverão passar a constituir preocupação dominante dos futuros engenheiros civis, se se pretender, sinceramente, atingir nítidos progressos neste campo da actividade da Engenharia Civil.

III — Como reduzidíssimo esquema do estudo dos materiais de construção, pode dizer-se que estes se dividem em duas grandes categorias: os que se obtêm directamente da Natureza, sem qualquer preparação especial (pedra, areia, madeira, etc.), e que poderão chamar-se «*materiais naturais*»; e os que se obtêm a partir dos «*materiais naturais*», por qualquer processo físico, químico, etc. (cimento, betão, materiais cerâmicos, etc).

Desta classificação muito geral ressalta imediatamente a enorme importância que a Natureza desempenha na construção. E volta a compreender-se, por uma via mais clara, e extraordinário interesse que assume o estudo em detalhe dos recursos naturais e da possibilidade de exploração desses recursos em função das condições locais (geológicas, climatéricas, etc.) das várias regiões do país.

A localização das indústrias de materiais de construção está, assim, muito condicionada pela distribuição dos recursos naturais (matérias primas e fontes de energia), sendo evidente que, em relação a um mesmo material de construção, não é possível conseguir uma fabricação igualmente económica em todas as regiões do país. E torna-se clara a conclusão de que certas indústrias de materiais de construção poderão desenvolver-se mais fàcilmente de que outras no nosso país, o que equivale a dizer-se que o progresso neste campo, exige que a produção nacional dos materiais de construção se adapte às características do nosso solo, subsolo e clima, isto é, constitua uma certa especialização nacional. Estas considerações são aplicáveis, por exemplo, aos casos dos materiais obtidos a partir da cortiça (de que somos os maiores produtores do mundo) e do cimento (de que existem actualmente 4 e, em breve, 6 fábricas na Metrópole, e 3 nas Colónias).

Ao problema da localização das indústrias dos materiais de construção liga-se ìntimamente o do estudo dos preços de custo destes e, como sequência indispensável, o dos preços de venda. E para ambos se tornou inadiável a intervenção do engenheiro e, portanto, uma preparação adequada dos alunos de engenharia, no sentido de se avaliarem cuidadosamente todas as possibilidades técnicas de abaixamento desses preços, o que constitui uma das condições de elevação do nível de vida nacional. E assim, por exemplo, será sempre deficiente, sob o ponto de vista formativo, o afirmar-se, a propósito de qualquer material, que a sua utilização *não é económica,* se não se precisarem as condições dessa utilização, isto é, se não se indicarem as razões desse custo elevado, e, ao mesmo tempo, as possibilidades de um abaixamento através da melhoria das condições técnicas de fabricação dos materiais.

Vejamos um exemplo. A utilização do alumínio na construção, antes da última guerra era em rigor impossível mesmo em países de grandes possibilidades industriais como os Estados Unidos da América do Norte, dado o elevado preço de custo deste material. Como porém a guerra trouxe consideráveis progressos à indústria daquele metal, a sua utilização tornou-se possível já em escala muito razoável.

IV — Por tudo o que anteriormente se referiu tem de concluir-se que o ensino superior dos «*materiais de construção*» não pode, de modo algum, revestir-se de um aspecto meramente descritivo. Pelo contrário, constituindo, como suponho, a «*matéria base*» do curso de Engenharia Civil, deverá ter um carácter profundamente formativo, isto é, deverá ser ministrado de modo a deixar bem nítidas no espírito do estudante as «*ideias gerais*» sobre os vários materiais de construção, o que só é possível através de um estudo comparativo desenvolvido gradualmente, por indicação das «*características comuns*» e das «*diferenças essenciais*» existentes entre os vários materiais, quer sob o ponto de vista físico-técnico quer sob o ponto de vista económico, de acordo com os fins a que se destinam, em resumo, pelo «*estudo crítico dos materiais de construção*», e não pelo seu estudo exclusivamente descritivo, que, como é evidente, se torna inútil por não deixar qualquer vestígio, qualquer «*marca formativa*» no espírito do estudante.

A simples descrição dos materiais de construção é, de facto, insuficiente porquanto não estimula iniciativas nem fornece os elementos basilares de qualquer estudo comparativo por parte do aluno, quer no aspecto físico-mecânico quer no aspecto económico — ambos fundamentais e inseparáveis na sua futura vida profissional. Por outras palavras, torna-se indispensável, que a maneira de apresentar o estudo dos materiais de construção desperte no aluno pontos de vista pessoais, fomente o seu espírito crítico e desenvolva o seu interesse pela eficiência e economia da construção, no aspecto «*materiais*» — e esta preocupação é incompatível com o predomínio de um carácter exclusivamente descritivo.

Alguns exemplos ajudarão a compreender os pontos de vista que defendo. Assim, em nada se contribui para a formação do aluno quando se afirma que um determinado material é *bom isolador do calor* ou *impermeável à humidade,* se não se analisar em deta-

lhe, pelo menos nalguns casos, o *mecanismo físico* da condutibilidade térmica e da permeabilidade. Não se pretende, com isto, afirmar que devam ser expostas, no decorrer do ensino dos materiais de construção, as bases teóricas daqueles mecanismos físicos, porquanto essas bases devem ser adquiridas pelo aluno na cadeira de Física. Deve sim dar-se a este a oportunidade de aplicar concretamente esses conhecimentos ao estudo dos materiais de construção, quer por explicação pormenorizada do próprio professor nos casos mais complexos, quer através de exercícios de aplicação (aulas práticas) nos casos mais simples, ou, pelo menos, acessíveis ao aluno.

É também completamente inútil, mesmo prejudicial, a descrição verbal dos numerosos ensaios a que podem sujeitar-se os materiais de construção, *se não se proporcionarem ao aluno os meios de os realizar, pelo menos em grande parte.* De facto, limitando-se este estudo dos ensaios a uma monótona descrição, obriga-se o aluno a um trabalho predominantemente de memória, cansativo, improdutivo e, o que parece mais grave, quase totalmente substituível pela própria realização dos ensaios que, afinal, constituem um dos métodos mais eficientes de criar e desenvolver o espírito crítico anteriormente referido.

V — Em conclusão de tudo o que acaba de expor-se, pode dizer-se que o ensino superior dos «*materiais de construção*» se apresenta com verdadeiro sentido e utilidade nacionais apenas quando ministrado com um carácter simultâneamente *técnico* e *económico;* e esta orientação, para ser fecunda, sob o ponto de vista *formativo,* deverá basear-se nos seguintes princípios fundamentais:

1.º — Aplicação constante dos conhecimentos adquiridos na cadeira de Física ao estudo dos materiais de construção, através de estudos críticos comparativos, não só em aulas teóricas mas também, e muito especialmente, em aulas práticas [1].

2.º — Estudo económico comparativo de todos os materiais estudados.

3.º — Conjugação dos dois elementos atrás indicados — espírito físico e carácter económico — de modo a contribuir-se para a criação do «*clima*» que tornará possível o despertar nos alunos do gosto pela investigação científica aplicada aos materiais de construção, fomentando-se assim as vocações que tão necessárias se estão tornando neste campo da actividade técnico-científico nacional.

Parece ser esta, no conjunto e em muito breve resumo, a orientação que permitirá tornar o ensino dos «*materiais de construção*» num ensino simultâneamente *vivo, profundo,* e com *utilidade nacional;* e a única via pela qual será, então, possível dar aos futuros engenheiros civis uma formação profissional compatível com a necessidade da sua intervenção na melhoria do nível económico do país através do estudo do abaixamento do custo da construção, da resolução do problema da habitação e doutros igualmente importantes.

Lisboa, Fevereiro de 1950.

---

[1] Em meu entender, o desenvolvimento a que esta orientação lògicamente obriga, justifica plenamente a separação dos ensinos dos «*materiais de construção*», do dos «*processos gerais de construção*», tanto mais que este último, para ser eficiente, obriga também a um razoável desenvolvimento; e revela, por outro lado, a necessidade da existência, no ensino dos «*materiais de construção*», de verdadeiras aulas práticas de exercícios e ensaios laboratoriais.

Estudo do circuito oscilante com bobina de núcleo de ferro saturado em regime forçado

PELO ENG.º ELECT. (I. S. T.) MANUEL JOSÉ DE ABREU FARO
Assistente do I. S. T.

C. D. 538.551.2

O trabalho que agora publicamos é, sem alteração sensível, o mesmo que foi apresentado para a obtenção do diploma a que se refere o artigo 44.º do Regulamento do Instituto Superior Técnico.

A parte experimental deste estudo foi realizada, durante o 1.º semestre do ano de 1949 no Laboratório de Medidas Eléctricas do Instituto Superior Técnico tendo-se utilizado o seu material.

Antes de iniciar esta publicação desejamos testemunhar ao Ex.mo Professor Doutor-Engenheiro Carlos Ferrer Moncada o nosso profundo agradecimento não só pelos conselhos e ensinamentos que nos deu mas ainda por ter criado no Laboratório as condições necessárias para a realização do presente trabalho.

Introdução

No presente trabalho estuda-se «o circuito oscilante com bobina de núcleo de ferro saturado em regime forçado.

Este circuito apresenta para determinados valores das grandezas que caracterizam os seus elementos, um comportamento interessante que foi evidenciado pela primeira vez por Martienssen.

Além do interesse teórico que possa apresentar, o circuito considerado intervém ainda dum modo digno de relevo nas instalações eléctricas do domínio industrial, onde o vamos encontrar realizado desde que se operem nas referidas instalações certas alterações que provêm, na generalidade dos casos, de manobras erradas ou avarias.

Nestas circunstâncias o comportamento do referido circuito determina o estabelecimento brusco de sobretensões importantes.

Consta este trabalho de três partes: na primeira fazemos um estudo teórico do circuito e apresentamos os resultados experimentais das medidas eléctricas efectuadas no laboratório para verificação da teoria exposta.

Na segunda parte faremos referência a um processo aproximado de tratar o problema e que é usual, analisando-se a importância dos erros que introduz.

Finalmente preencheremos a terceira com uma relação das instalações eléctricas onde o estabelecimento das referidas sobretensões é mais frequente.

O sistema de unidades utilizado foi o sistema prático electromagnético de Maxwel; deste modo o fluxo virá expresso numa unidade que não tendo designação própria representaremos pelas suas dimensões [v. s.]

Notações

Designamos por:

R — resistência em série no circuito
C — capacidade em série » »
i — valor instantâneo da corrente
φ — » » do fluxo total ligado com a bobina

e_k — valor instantâneo da tensão aplicada

e_C, e_B, e_R — valores instantâneos das quedas de tensão no condensador, bobina e resistência.

Letras maiúsculas afectadas do índice n — Amplitude da harmónica da ordem n da respectiva grandeza E_{C1}, E_{C3} ...

Letras maiúsculas afectadas do índice «ef» — Valor eficaz da respectiva grandeza I_{ef}, E_{Bef}, $E_{B1\,ef}$

Letras maiúsculas encimadas por um traço — Amplitudes complexas em notação simbólica $\overline{E}_{C1}$.

Outras designações que se usem serão definidas no momento oportuno.

I PARTE

1 — Circuito oscilante com bobina de núcleo de ferro saturado

Para melhor compreensão do assunto que vamos tratar, indicaremos dum modo breve em que consiste o comportamento especial do referido circuito, as causas que o determinam e algumas das principais propriedades.

Na fig. 1 representam-se as características $E_{k\,ef} = f(I_{ef})$ para diversos valores da capacidade e para $R = o$, supondo-se que a pulsação ω da tensão e_k é constante e que se trata sempre da mesma bobina.

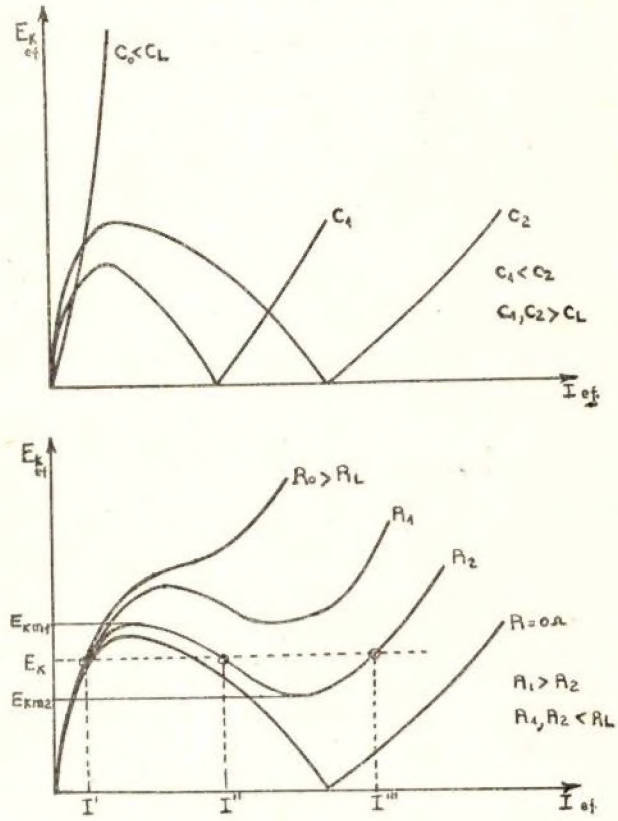
Como se vê, as características não são lineares e deformam-se à medida que C diminui existindo um valor de $C = C_L$ que separa dois tipos de características.

Assim para $C > C_L$ as características apresentam uma zona decrescente enquanto que para $C < C_L$ as características são sempre crescentes.

Na fig. 2 representam-se agora características correspondentes a $C_1 = C_L$ e para diversos valores de R, verificando-se que à medida que R cresce, a zona decrescente se atenua, existindo um valor de $R = R_L$ a partir do qual as características são sempre crescentes.

Consideremos uma característica correspondente a $C > C_L$ $R < R$ e sejam E_{km1}, E_{km2} respectivamente o máximo e mínimo da característica $E_{kef} = f.(I_{ef})$ Conclui-se então que a E_k tal que $E_{km2} < E_k < E_{km1}$, correspondem três estados de equilíbrio (E_k, I') (E_k, I'') (E_k, I''')

Destes estados de equilíbrio é instável o correspondente a I''.



Figs. 1 e 2

As características que ocasionam o estabelecimento de sobretensões são aquelas que apresentam a zona decrescente.

A causa que origina este andamento é a associação série duma bobina de núcleo de ferro saturado com uma capacidade de valor conveniente $C > C_L$.

A existência de resistência no circuito atenua a zona decrescente. Deste modo, o conjunto bobina-capacidade intervém como factor de origem enquanto que a resistência intervém como factor de desaparecimento em relação a um dado conjunto.

Dum modo grosseiro podemos explicar este tipo de características.

Consideremos a sinusoide equivalente à corrente i, ou seja uma corrente sinusoidal

com a pulsação da fundamental que tenha o mesmo valor eficaz de i a qual, como veremos, não é sinusoidal

Teremos então as equações:

(1) $E^2_{K\,ef} = R^2 I^2_{ef} + (E_{B\,ef} - E_{c\,ef})^2$

(2) $$E_{c\,ef} = \frac{1}{\omega C} I_{ef}$$

(3) $$E_{B\,ef} = f(I_{ef})$$

A função $E_{B\,ef} = f(I_{ef})$ traduzirá o efeito da saturação, indo traçada qualitativamente na fig. 3.

Consideremos agora o caso de ser $R = 0$ será:

$$E_{Kef} = E_{B_{ef}} - E_{c\,ef}$$

Neste caso, a característica $E_{Kef} = f(I_{ef})$ pode obter-se fàcilmente: basta subtrair as ordenadas correspondentes de (2) (3) construção que vai feita na fig. 3.

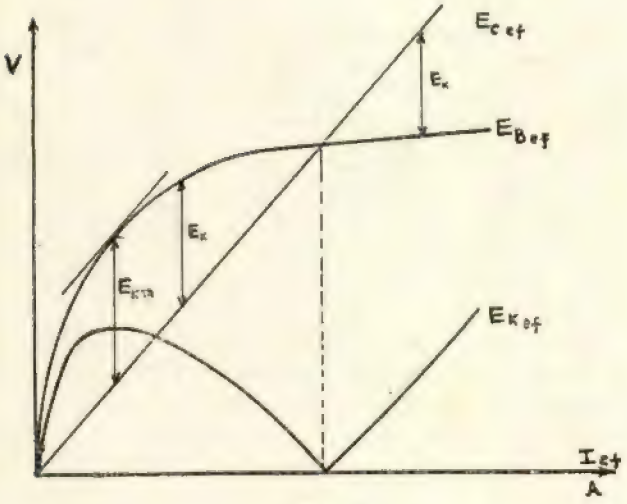


Fig. 3

Para obter a característica no caso de existir resistência, bastará adicionar vectorialmente para cada valor de I, a diferença $E_{B\,ef} - E_{c\,ef}$ com o valor R I, obtendo-se então características cujo andamento é o mesmo das anteriormente traçadas.

Esta construção, embora grosseira tem a vantagem de fazer ressaltar com simplicidade a essência do fenómeno, e constitui um processo aproximado de tratar o problema, que será analisado na devida altura.

* * *

Expliquemos ainda, ràpidamente, o estabelecimento brusco de sobretensões.

Consideremos uma característica (fig. 2) em que $C > C_L$ $R < R_L$.

Suponhamos um estado de equilíbrio (E_K, I') na 1.ª zona crescente, e admitamos que se aumenta dum modo permanente ou momentâneo E_K para $E_K' > E_{Km}$.

Como se verifica fàcilmente este estado só é possível na segunda zona crescente.

Pois bem, na realidade o regime de funcionamento estabelece-se bruscamente nesta zona e nela permanecerá mesmo que E_K diminua exigindo-se apenas que $E_K > E_{Km}$.

Deste modo, passa-se dum regime de fracas correntes I', para outro de correntes elevadas I'', o condensador fica sujeito a uma sobretensão que é medida aproximadamente por $\frac{I''}{I'}$, a sobretensão na bobina será menor devido ao efeito da saturação.

Estas sobretensões são máximas no caso de ser $R = 0$ e atenuam-se à medida que R aumenta como é evidente (fig. 2).

Todos estes pontos serão elucidados no seguimento do trabalho terminando aqui a introdução que queríamos fazer.

2 — Método utilizado

O método que seguimos no estudo do referido circuito consistiu em tomar como dado fundamental a lei de variação $f(\varphi, i) = 0$ da corrente que atravessa a bobina com o fluxo total ligado com esta, lei que determinámos empìricamente. Em seguida fizemos intervir esta relação nas equações de valores instantâneos que regem o comportamento do circuito.

Não tomámos em consideração as perdas no ferro e admitimos ainda que a lei de variação $f(\varphi, i) = 0$ é independente do modo como qualquer destas grandezas varia no tempo.

3 — Lei de variação $f(\varphi, i) = 0$

Existem diversas relações que traduzem dum modo aproximado a lei de variação $f(\varphi, i) = 0$ em bobinas de núcleo de ferro saturado.

Dentre as que conhecemos destacamos a de Dreyfus que relaciona a inducção b com a corrente i

$$b = \alpha \operatorname{arc\,tg} \beta i + \gamma i$$

à qual podemos fazer corresponder

$$\varphi = \alpha' \operatorname{arc\,tg} \beta' i + \gamma' i .$$

Esta expressão é a que melhor traduz a lei de variação $f(\varphi, i) = 0$. Existem outras relações que permitem também uma boa representação desta lei de variação são por exemplo as de:

$$\text{Frölich} \rightarrow \varphi = \alpha . \frac{n i}{1 + \beta n i} \qquad i > 0$$

$$\text{Lamont} \rightarrow \varphi = \Phi m \, (1 - e^{-K n i}) \qquad i > 0$$

Qualquer destas últimas tem o inconveniente de não ser uma função ímpar, condição a que satisfaz como sabemos a lei de variação $f(\varphi, i) = 0$ desde que i varie simètricamente em relação ao valor zero.

Deste modo são incómodas de utilizar na resolução das equações.

Por outro lado há conveniência em tomarmos como incógnita fundamental o fluxo e, sendo assim, também não usamos a expressão de Dreyfus mas uma do tipo

$$i = a_1 \varphi + a_3 \varphi^3 + a_5 \varphi^5$$

que também é usual.

O facto de à priori podermos estabelecer o tipo de função que deve traduzir a lei de variação $f(\varphi, i) = 0$ está em que, à referida lei corresponde uma lei $g(b, i) = 0$ que é sensìvelmente a mesma para as diversas chapas magnéticas que habitualmente se usam na construção dos núcleos.

4 — Determinação experimental da lei de variação do fluxo com a corrente

A fim de verificar os resultados teóricos determinámos para uma bobina a lei de variação $f(\varphi, i) = 0$.

Esta determinação foi feita a partir de curvas obtidas num oscilógrafo de raios catódicos que foram fotografadas e ampliadas a escala conveniente.

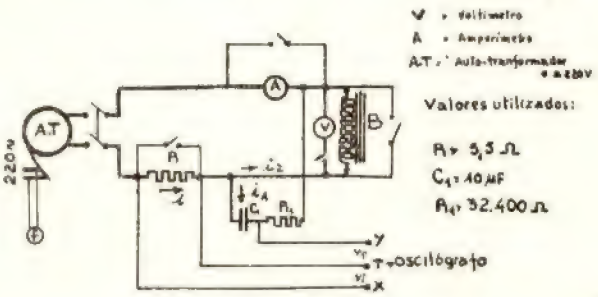
Usámos dois processos; qualquer deles exige duas tensões respectivamente proporcionais e em fase com a corrente e com o fluxo, distinguindo-se no modo como utilizámos essas tensões no oscilógrafo.

Passamos a indicar a montagem que permite obter as duas tensões exigidas.

* * *

Consideremos o esquema n.º 1.

Esquema prático:



Esq. 1

Para obter uma tensão proporcional à corrente i tomaremos a tensão aos terminais da resistência ohmica pura R.

Será

$$V_i = R . i$$

A tensão V_φ proporcional à φ consegue-se utilizando a tensão aos terminais do condensador C_1 para valores convenientes de C_1, R_1.

Desprezando a queda ohmica na bobina teremos as equações

$$(1) \qquad e_k = \frac{d\varphi}{dt}$$

$$(2) \qquad e_k = R_1 i_1 + \frac{\int i_1 \, dt}{C_1}$$

Se escolhermos R_1 e C_1 de modo a podermos desprezar $\frac{\int i_1 \, dt}{C_1}$ em relação a $R_1 \, i_1$ teremos

$$(3) \qquad \frac{d\varphi}{dt} = R_1 \, i_1$$

e portanto i_1 proporcional a $\frac{d\varphi}{dt}$.

Sendo assim a tensão e_{c_1} aos terminais do condensador será:

$$(4) \qquad e_{c_1} = \int \frac{i_1 \, dt}{C_1} = \frac{1}{R_1 \, C_1} \int \frac{d\varphi}{dt} \, dt = \frac{\varphi}{R_1 \, C_1}$$

Cometemos dois erros. O primeiro deve-se à aproximação feita na equação (2), o segundo ao facto da bobina não ser percorrida pela corrente i mas sim pela corrente $i_2 = i - i_1$.

Os valores adoptados foram os seguintes:

$$R \simeq 5 \, \Omega$$
$$R_1 \simeq 32.400 \, \Omega$$
$$C_1 \simeq 10 \, \mu F$$

A experiência foi feita para uma tensão e corrente de valores eficazes respectivamente:

E_k e f = 200 V I e f = 5,2 A f = 50 H_z

A reactância correspondente a C_1 é para

$$f = 50 \, H_3 \qquad X_{c_1} = 318 \, \Omega$$

Valor que em relação a R_1 é:

$$\frac{X_{c_1}}{R_1} = 0{,}0098 \simeq 1 \, \%$$

Valor eficaz da corrente i_1 dá:

$$I_1 \text{ e f} = \frac{E_{1k}}{R_1} = 0{,}0061 \text{ A}$$

Valor que em relação a I dá:

$$\frac{I_1}{I} = 0{,}0012 \simeq 0{,}1 \, \%$$

Perante estes valores conclui-se que são desprezáveis os erros cometidos.

Convém notar que a tensão e_k não é sinusoidal devido à queda de tensão na resistência R, facto que desprezamos por não tomarmos em consideração a variação da curva $f(\varphi, i) = 0$ com a forma como φ varia no tempo.

Vejamos agora como utilizar as tensões V_φ, V_i.

* * *

Processo I — Consiste na aplicação às placas verticais do oscilógrafo da tensão V_φ e às horizontais da tensão V_i.

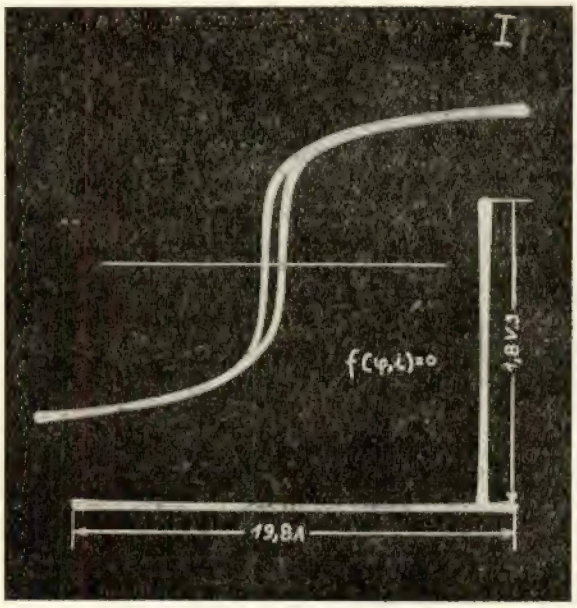
No ecran aparecerá a curva $f(\varphi, i) = 0$ com a corrente em abcissas e o fluxo em ordenadas.

A fotografia da curva obtida figura na foto (I).

A fim de obtermos as escalas convenientes aferimos o oscilógrafo impondo na mesma fotografia as escalas de aferição.

Aferição da escala de corrente — Fizemos atravessar a resistência *R* por uma corrente sinusoidal pura de valor eficaz 7 A; deste modo obtivemos no oscilógrafo um traço correspondente ao dobro do valor máximo da corrente $2 \times \sqrt{2} \, . \, 7 = 19{,}8$ A.

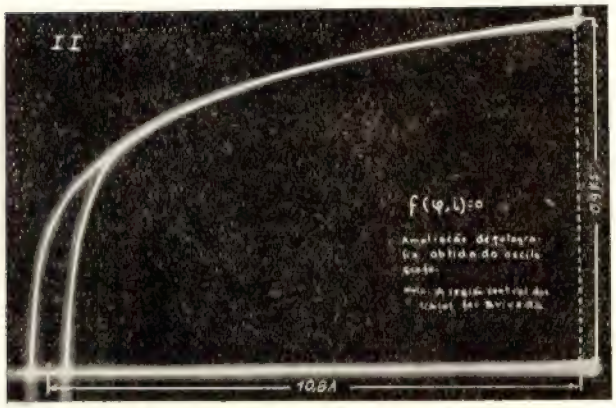
Aferição da escala do fluxo — Aplicamos aos terminais da bobina uma tensão sinusoidal pura de valor conhecido 200 V. Desprezando a queda ohmica na bobina tere-



Fot. I

mos que o fluxo será também sinusoidal obtendo-se um traço correspondente a

$$\frac{2 \times 200 \times \sqrt{2}}{\omega} = 1{,}8 \text{ V.S}$$



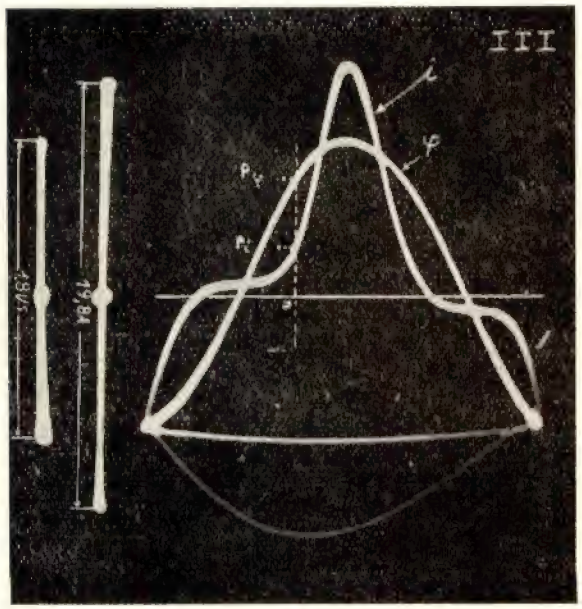
Fot. II

Processo II — O segundo processo consiste em oscilografar em conjunto as duas tensões V_φ V_i.

As ordenadas correspondentes à mesma abcissa definem um ponto da curva

$$f(\varphi, i) = 0$$

Para o uso deste método exige-se um oscilógrafo de duplo feixe, caso presente, ou um comutador electrónico.



Fot. III

A aferição faz-se de modo idêntico.

Na fotografia III figuram as curvas assim obtidas.

A partir da fotografia construímos a curva $f(\varphi, i) = 0$ obtendo-se uma boa coincidência com a determinada pelo processo I.

O primeiro processo apresenta sobre o segundo a vantagem de dar directamente a curva pretendida, enquanto que o segundo exige uma construção geométrica que é imprecisa devido à grande inclinação da curva da corrente.

Por isso apoiamos os nossos resultado no 1.º processo para o que procedemos a uma maior ampliação da porção de curva do 1.º quadrante (fotografia II).

Tomamos para lei de variação a região média dos dois ramos.

Nota — A fotografia II com que trabalhámos apresentava as seguintes dimensões:

12,8 cm → 10,8 A
8,4 cm → 0,9 V. S

5 — Estabelecimento duma fórmula empírica

Estabelecida experimentalmente a lei de variação $f(\varphi, i) = 0$ procuremos agora uma fórmula empírica que traduza esta lei dentro da saturação atingida.

Esta fórmula deve conter-se na expressão:

$$i = a_1 \varphi + a_3 \varphi^3 + a_5 \varphi^5$$

O problema consiste pois na determinação dos coeficientes a_1, a_3, a_5 de modo a obter-se uma boa adaptação à curva experimental.

O coeficiente a_1 pode determinar-se aproximadamente a partir do seu significado.

De facto:

$$a_1 = \lim_{\varphi \to 0} \frac{di}{d\varphi}$$

Deste modo basta determinar a inclinação na origem para obtermos um valor aproximado de a_1.

Dizemos aproximado porque sendo impossível uma adaptação perfeita, o valor de a_1 adoptado não coincide exactamente com $\lim_{\varphi \to 0} \frac{di}{d\varphi}$. Convém ainda notar que o valor de a_1 não tem significado físico preciso

pois que a lei de variação $f(\varphi, i) = 0$ apresenta, na vizinhança da origem, uma inflexão que a função procurada não pode traduzir.

Dentro da precisão do oscilógrafo observámos que, diminuindo a saturação, o extremo da curva percorre toda a região comum aos dois ramos da curva correspondente à saturação a que se obteve o oscilograma.

A partir da parte comum o extremo começa a percorrer uma região que não coincide exactamente com a região central aproximando-se ligeiramente do ramo ascendente, acabando por ter o andamento típico das curvas deste género as quais apresentam uma inflexão na vizinhança da origem.

Contudo, o afastamento da região central não se pode evidenciar dum modo preciso e ainda porque não podemos representar rigorosamente com a fórmula empírica adoptada a lei de variação na vizinhança da origem, tomámos a região central que corresponde à posição média de todos os estados de saturação superior a uma saturação vizinha da origem.

A curva assim obtida figura a cheio no gráfico da fig. 4.

A partir da curva experimental determinámos para a_1 um valor aproximado:

$$a_1 = 0{,}64 \text{ A/ V. S}$$

Em seguida considerámos diversos pontos da curva experimental:

$$\varphi_1 \quad \varphi_2 - \varphi_P . -$$

$$i_1 \quad i_2 - i_P . -$$

1) — Calculámos os produtos $a_1 \varphi_P$

2) — Calculámos as diferenças $i_P - a_1 \varphi_P$

Estas diferenças devem representar:

$$a_3 \varphi^3 + a_5 \varphi^5$$

Procurámos verificar se seria possível obter uma curva mais simples em que um dos coeficientes a_3 ou a_5 possa ser nulo:

Para isso dividimos as diferenças obtidas.

1) — Por φ^3

2) — Por φ^5

Os primeiros cocientes variam bastante de modo que se conclui que $a_5 \neq 0$

Os cocientes por φ^5 são sensìvelmente constantes.

Deste modo verifica-se ser possível simplificar a fórmula geral pois que a constância destes cocientes significa que $a_3 = 0$ particularizando-se a nossa fórmula para:

$$i = a \varphi + b \varphi^5$$

QUADRO N.º 1

N.º	φ	i	$i - a\varphi$	$\frac{i - a\varphi}{\varphi^3}$	$\frac{i - a\varphi}{\varphi^5}$	$i_{a,b}$
—	V . S	A	A	A V^{-3} S^{-3}	A . V^{-5} S^{-5}	A
1	0,318	0,25	0,06	1,89	18,4	0,250
2	0,382	0,38	0,14	2,52	16,6	0,362
3	0,446	0,57	0,29	3,26	16,5	0,556
4	0,510	0,88	0,56	4,25	16,4	0,865
5	0,572	1,42	1,06	5,63	17,1	1,367
6	0,634	2,10	1,70	6,55	16,2	2,110
7	0,700	3,11	2,67	7,79	15,8	3,217
8	0,765	4,55	4,07	9,12	15,6	4,756
9	0,828	6,81	6,29	11,20	16,3	6,864
10	0,891	9,87	9,31	13,20	16,6	9,800

Posto isto considerámos diversos pares de pontos da curva experimental:

$$P_1 \quad Q_1$$

$$P_2 \quad Q_2$$

dispostos na curva pela seguinte ordem:

origem — P_1 P_2 — — Q_2 Q_1 — extremo

Impondo que a curva passe pelos diversos pares de pontos obtemos, por resolução de sistemas, diversos valores para a, b.

Tomando a média dos mais próximos determinámos finalmente:

$$\begin{cases} a = 0{,}596 = 0{,}6 \text{ A/ V. S} \\ b = 16{,}5 \text{ A/ (V. S)}^5 \end{cases}$$

Estas operações e resultados vão condensados no quadro de valores n.º 1, onde $i_{a,b}$ representa a corrente calculada a partir da

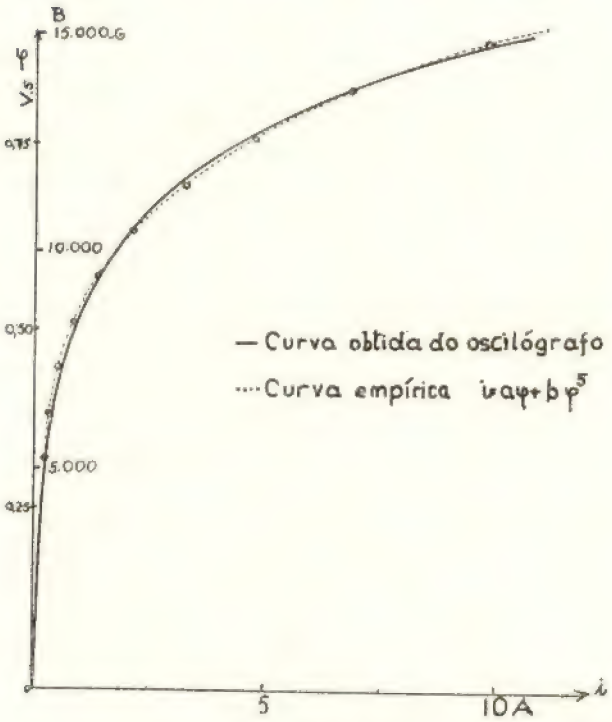


Fig. 4

expressão $i = 0{,}6\,\varphi + 16{,}5\,\varphi^5$. No gráfico da (fig. 4) figuram as curvas experimental e empírica notando-se uma boa coincidência.

6 — Verificação da fórmula empírica estabelecida

Uma vez determinados os coeficientes de

$$i = a\,\varphi + b\,\varphi^5$$

procedemos a uma verificação desta fórmula examinando o modo como traduzia em corrente alternada o comportamento da bobina.

Para tal determinámos experimentalmente a curva de magnetização $E_{Bef} = f(I_{ef})$ aplicando à bobina uma tensão sinusoidal.

Em seguida determinamos a curva de magnetização a partir de $i = a\,\varphi + b\,\varphi^5$ para o que substituimos φ por:

$$\varphi = \Phi \text{ sen } \omega t \quad \text{onde} \quad \Phi = E_{Bef}\,\frac{\sqrt{2}}{\omega}$$

obtemos para i a expressão:

$$i = I_1 \text{ sen } \omega t - I_3 \text{ sen } 3\,\omega t + I_5 \text{ sen } 5\,\omega t$$

onde:

$$I_1 = a\,\Phi + \frac{10\,b}{16}\,\Phi^5$$

$$I_3 = \frac{5\,b}{16}\,\Phi^5$$

$$I_5 = \frac{b}{16}\,\Phi^5$$

Podemos assim determinar

$$I_{ef} = f(\Phi)$$

e portanto

$$I_{ef} = f(E_{Bef})$$

sendo

$$I_{ef} = \frac{\sqrt{2}}{2}\,\sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2}$$

No quadro n.º 2 figuram os valores experimentais e teóricos e no gráfico da fig. 5 representam-se as duas curvas teórica e experimental notando-se uma boa concordância com excepção da região inicial que a função considerada não domina e ainda porque nessa região se fazem sentir mais as perdas no ferro que desprezámos.

QUADRO N.º 2

N.º	Valores Experimentais		Valores Teóricos determinados a partir de $i = 0{,}6\,\varphi + 16{,}5\,\varphi^5$					
	$E_{B_{ef}}$	I_{ef}	$E_{B_{ef}}$	Φ	I_1	I_3	I_5	I_{ef}
—	V	A	V	V . S	A	A	A	A
1	80,0	0,31	80	0,360	0,277	0,031	0,006	0,196
2	90,0	0,36	90	0,405	0,354	0,056	0,011	0,255
3	100,0	0,44	100	0,450	0,459	0,095	0,019	0,330
4	110,0	0,55	110	0,495	0,600	0,193	0,030	0,460
5	120,0	0,68	120	0,540	0,795	0,236	0,047	0,586
6	130,0	0,86	130	0,585	1,058	0,353	0,071	0,790
7	140,0	1,10	140	0,630	1,400	0,512	0,102	1,058
8	150,0	1,41	150	0,675	1,840	0,721	0,144	1,392
9	160,0	1,81	160	0,720	2,410	0,990	0,198	1,850
10	170,0	2,34	170	0,765	3,155	1,350	0,270	2,420
11	180,0	3,03	180	0,810	4,100	1,810	0,362	3,180
12	190,0	4,02	190	0,855	5,240	2,365	0,473	4,070
13	198,4	5,00	200	0,900	6,620	3,045	0,609	5,160

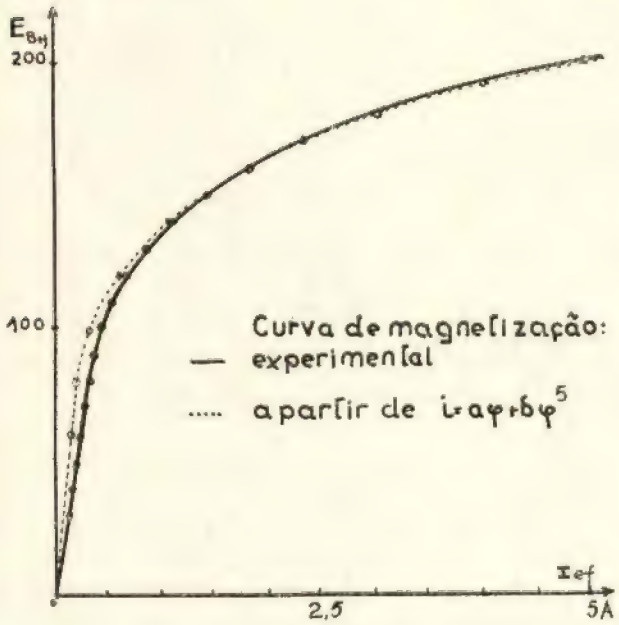


Fig. 5

7 — Determinação da lei de variação $f(\varphi, i) = 0$ a partir da análise experimental das harmónicas da corrente

Posteriormente à realização do trabalho que apresentámos para a obtenção do Diploma foi-nos indicado pelo nosso Professor Ex.mo Prof. Dr. Engenheiro C. F. Moncada um método simples e cómodo de determinar com suficiente rigor as 1.ª e 3.ª harmónicas duma corrente ou tensão.

Uma vez da posse deste método pensámos aplicá-lo para determinar por outra via a lei de variação $f(\varphi, i) = 0$. Por ter resultado eficiente e ser pouco trabalhoso julgamos útil apresentá-lo.

Vejamos inicialmente em que consiste o método de análise.

Consideremos um regime forçado por uma tensão sinusoidal de pulsação ω.

E suponhamos que pretendemos analisar uma corrente ou tensão sujeitas a este regime e que sejam funções periódicas com harmónicas.

Se conseguirmos obter uma corrente sinusoidal de pulsação $n\omega$ cuja diferença de fase em relação à origem dos tempos seja regulável dentro de qualquer valor que se pretenda, é possível determinar fàcilmente a harmónica da ordem n da função a analisar.

Exigindo-se apenas que essa corrente seja a conveniente à alimentação das bobinas de tensão ou corrente dum wattímetro, isto é, que a potência da fonte que a forneça seja, sob a forma de tensões ou correntes elevadas, consoante a alimentação que se pretenda.

Seja i a corrente a analisar.

Alimentando a bobina de corrente dum wattímetro por i e fazendo percorrer a bobina de tensão pela corrente sinusoidal de pulsação $n\omega$ a indicação do wattímetro será:

$$P_n = I_{nef.}\ E_{nef.}\ \cos \alpha_n$$

Onde

I_{nef} é o valor eficaz da harmónica da ordem n de i

E_{nef} é o valor eficaz da tensão e_n aos terminais da bobina de tensão

α_n a desfasagem entre e_n e a harmónica i_n da corrente.

Como porém podemos regular a diferença de fase de e_n em relação à origem dos tempos, é possível conseguir-se $\cos \alpha_n = \pm 1$, estado este que é assinalado pelo desvio máximo $P_{nM} = I_{nef.}\ E_{nef.}$ do wattimetro.

Actuando no regulador de fase e registando P_{nM}, E_{nef} obtemos a amplitude da harmónica da ordem n de i

$$I_n = \sqrt{2}\ \frac{P_{nM}}{E_{nef}}$$

Para analisar uma tensão a técnica era idêntica, trocando-se apenas a alimentação das bobinas do wattimetro.

* * *

Vejamos agora como é possível obter-se uma corrente sinusoidal de pulsação 3ω, satisfazendo às condições enunciadas.

Consideremos o esquema n.º 2, onde se representa um regulador de fase trifásico, máquina assíncrona adaptada a esta utilização.

O estator está alimentado pelo sistema trifásico da rede (380 - 50 H_z).

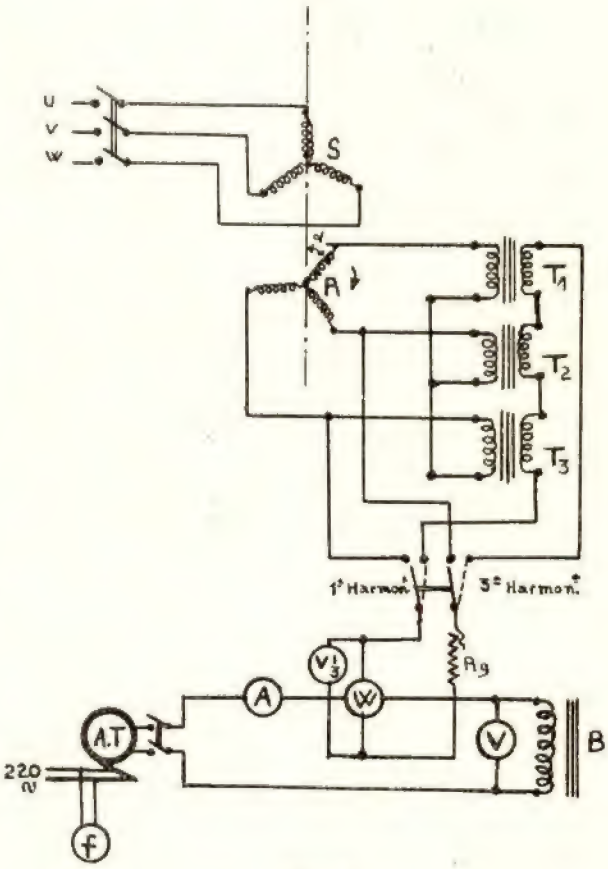
Ao rotor estão ligados três transformadores monofásicos independentes e iguais montados em estrela.

Os secundários estão devidamente ligados em triângulo tendo em série a bobina que se pretende alimentar, neste caso a de tensão, e uma resistência de regulação.

Então a corrente que circula através das bobinas de tensão só contém harmónicas múltiplas de três.

De facto, uma vez que os primários estão ligados em estrela, as correntes que os atravessam não têm harmónicas múltiplas de três.

Devido a isto e por efeito da saturação magnética, os fluxos dos transformadores passam a ter uma terceira harmónica acentuada, que se acentua ainda mais nas f. e . m dos secundários.



Esq. 2

Circulando na malha formada pela montagem em triângulo dos secundários conclui-se que a f. e . m resultante só tem harmónicas múltiplas de três, visto que a soma das f. e . m das outras ordens 1, 5, 7, 11, etc., é igual a zero.

Deste modo a corrente que circula através do wattimetro só contém harmónicas múltiplas de três, mas como o valor da terceira harmónica é muito maior que o das outras e a impedância da malha aumenta com a ordem das harmónicas, podemos dizer que pràticamente só circula a terceira har-

mónica. Êste facto comprovou-se com um oscilograma.

Mas mesmo que se admita uma pequena percentagem de 9.ª harmónica na tensão e_n o erro que se comete na medição de P_{3M} é insignificante desde que a 9.ª harmónica da corrente a analisar também seja pequena.

O erro relativo cometido tem por limite superior:

$$\frac{E_9 \cdot I_9}{E_3 \; I_3}$$

Valor este que é muito pequeno atendendo a que são pequenos $\frac{E_9}{E_3}$, $\frac{I_9}{I_3}$.

A determinação de I_1 pode conseguir-se usando a tensão entre fases do rotor. Uma vez que a corrente absorvida pelos transformadores em vazio é pequena é escusado desligá-los sem que se receie uma deformação da tensão devido à queda de tensão interna no regulador de fase.

Imprimindo uma rotação ao rotor, rodará em relação à origem dos tempos a estrela de tensões dos primários e com ela a f. e. m dos secundários, obtendo-se assim a regulação de fase.

A pulsação é 3ω visto que tanto o regulador de fase como o auto-transformador que debita a corrente a analisar são alimentados pela mesma rede.

Deste modo o desvio do wattimetro mantém-se estável, pois as pulsações de i_3 e e_3 são síncronas.

Os transformadores (T_1, T_2, T_3) apresentam diversos enrolamentos independentes, que permitem conseguir uma tensão ou correntes elevadas.

O regulador de fase transforma as tensões numa relação sensìvelmente igual a 1.

Usámos nos transformadores os enrolamentos 220/350 V — obtendo-se uma tensão suficientemente elevada para garantir no wattimetro uma tensão de 220 V. A regulação de tensão fez-se por intermédio duma resistência em série de 16.200 Ω.

Utilizando os enrolamentos 220/6,3 V pode-se conseguir uma corrente da ordem dos 5 A, que interessa para análise de tensões.

Para medir I_1 basta comutar a tensão fornecida pelos transformadores para a tensão entre fases do rotor, exigindo-se para a medição de I_1 apenas a regulação de fase.

O wattimetro utilizado foi em wattimetro electrodinâmico sem ferro, para 220 V. 5 A.

* * *

Vejamos agora como poderemos obter os coeficientes da lei de variação que supomos, ainda, do tipo:

$$(1) \qquad i = a_1 \varphi + a_3 \varphi^3 + a_5 \varphi^5$$

Impondo à bobina uma tensão sinusoidal do valor eficaz E_{Bef}, o fluxo será sinusoidal podendo exprimir-se por:

$$(2) \qquad \varphi = \Phi \operatorname{sen} \omega t \qquad \Phi = \sqrt{2}\, \frac{E_{Bef}}{\omega}$$

Substituindo em (1) φ pela expressão (2) obtemos, para a corrente, um desenvolvimento em que as amplitudes da 1.ª e 3.ª harmónicas são:

$$(3) \qquad I_1 = a_1 \Phi + \frac{3}{4} a_3 \Phi^3 + \frac{10}{16} a_5 \Phi^5$$

$$(4) \qquad -I_3 = \frac{1}{4} a_3 \Phi^3 + \frac{5}{16} a_5 \Phi^5$$

Analisando *i* para diversos valores de Φ obtemos de (4) equações em (a_3, a_5); resolvidas duas a duas e tomando a média dos valores mais próximos, determinamos a_3, a_5

Substituindo em (3) (Φ, a_3, a_5) obtemos diversos valores para a_1, a média dos mais próximos dá-nos um valor provável de a_1.

Uma vez determinados por este processo, a_1, a_3, a_5, a fórmula obtida poderá ser corrigida comparando, por exemplo, as características $E_{Bef} = f$ (I e f) teórica e experimental o que é fácil para e_B sinusoidal. Aplicámos o processo, condensando os resultados no quadro de valores *3*. Dividindo I_3 por Φ^5 verificamos que os cocientes são sensìvelmente constantes o que significa que $a_3 \simeq 0$ o que vem confirmar os resultados anteriores.

QUADRO N.º 3

N.º	I_{ef}	$E_{B\,ef}$	P_1	P_3	$E_{1\,ef}$	$E_{3\,ef}$	Φ	I_1	I_3	$\frac{\Phi^5}{I_3}$
—	A	V	V. A	V. A	V	V	V. S	A	A	$A\,V^{-5}\,S^{-5}$
1	1,5	152,0	305	110	220	220	0,684	1,97	0,71	4,80
2	2,0	164,0	405	160	»	»	0,738	2,62	1,03	4,75
3	2,5	172,0	505	200	»	»	0,774	3,25	1,29	4,68
4	3,0	178,6	610	250	»	»	0,803	3,92	1,61	4,84
5	3,5	184,4	705	300	»	»	0,832	4,55	1,93	4,87
6	4,0	189,0	805	345	»	»	0,850	5,18	2,22	5,00
7	4,5	194,2	892	400	»	»	0,875	5,75	2,57	5,00
8	5,0	198,4	1000	445	»	»	0,894	6,45	2,86	4,99

Do quadro de valores n.º 3 tira-se para $\frac{I_3}{\Phi^5}$, tomando a média dos resultados mais próximos o valor de:

$$\frac{I_3}{\Phi_5} = \frac{5}{16}\,a_5 = 4{,}91 \qquad a_5 = 15{,}7\ A\ V^{-5}\ S^{-5}$$

Substituindo este valor na equação (3) e supondo $a_3 = 0$ achamos fora a_1 o valor médio de:

$$a_1 = 0{,}77\ A\ V^{-1}\ S^{-1}$$

Deste modo a fórmula empírica assim determinada é:

$$i = 0{,}77\ \varphi + 15{,}7\ \varphi^5$$

Enquanto que a dada pelo processo anterior era

$$i = 0{,}6\ \varphi + 16{,}5\ \varphi^5$$

Verifica-se, portanto, uma boa concordância, só os coeficientes de φ se afastam um pouco. Corresponde portanto esta fórmula não a uma aproximação da fórmula empírica atrás determinada, mas a uma aproximação da função $f(\varphi, i) = 0$ que agora se faz doutro modo embora próximo do que primeiro achamos.

Toda a parte do trabalho que se segue utiliza a fórmula

$$i = 0{,}6\ \varphi + 16{,}5\ \varphi^5$$

* * *

Terminamos aqui o que queríamos dizer sobre a determinação da lei de variação $f(\varphi, i) = 0$, ou seja o dado experimental em que apoiamos o estudo que se segue.

Evidentemente que a função $i = a_1\ \varphi + a_3\ \varphi^3 + a_5\ \varphi^5$ não pode traduzir dum modo completo para todas as saturações a lei de variação $f(\varphi, i) = 0$ contudo, permite-o fazer para as saturações normais dentro das aplicações práticas que interessam o nosso estudo.

A fim de dar uma ideia das saturações com que trabalhámos juntamos as características da bobina utilizada.

Características da bobina utilizada

Usámos como bobina o enrolamento dum transformador monofásico com as seguintes características:

Tensão de serviço — 150/110 V
Corrente — 10/13 A

Utilizámos o enrolamento de 150 volts. O número de espiras determinado por medidas eléctricas é de 210 aproximadamente.

Secção do núcleo — 32 cm^2

Tomando para coeficiente de utilização da chapa 0,9 determinámos a indução correspondente a um fluxo total ligado, de valor máximo 1 V. S.

Desprezando o fluxo de dispersão obtém-se uma indução de 16.500 Gauss.

Este valor, embora não seja garantido com rigor dá-nos uma ideia aproximada da indução com que trabalhámos, tendo-se traçado uma escala que estabelece a correspondência do fluxo com a indução (gráfico da fig. 4).

(Continua)

ÁGUAS DE PISCINAS

ALGUMAS PALAVRAS SOBRE A SUA ESTERILIZAÇÃO

PELO ENG.º MECÂNICO (I. S. T.) JOAQUIM JOSÉ SALGADO

C. D. 628 : 797.2

As águas não esterilizadas das cuvas de natação transformam-se ràpidamente em depósito duma intensa flora microbiana e em receptáculo duma quantidade incalculável de porcarias diversas. São, em primeiro lugar as algas, de numerosas e microscópicas variedades, que nela encontram um meio favorável ao seu desenvolvimento. A elas se juntam inúmeras colónias microbianas, especialmente de ordem fecalóide, sobretudo os *colis,* levados pelos banhistas, alguns deles sendo portadores de germens infecciosos. Assinalaremos ainda a presença nessas águas de mucus, de saliva, de suor, de urina em grande quantidade, e de outros humores líquidos, carregados muitas vezes de vírus que saem do corpo humano.

Todo este conjunto constitui um meio propício à propagação das infecções.

Por esse motivo as cuvas de natação cujas águas não são bacteriològicamente depuradas, se transformam num verdadeiro perigo para a saúde pública, contràriamente ao fim higiénico que, ao criá-las, se tem em vista.

A esterilização das águas das cuvas de natação impõe-se portanto de forma imperiosa. Para a realizar é necessário dispor-se dum processo que ofereça toda a segurança.

* * *

Os processos de esterilização das águas agrupam-se em físicos e químicos. Os físicos, que recorrem ao calor, à electricidade ou aos raios ultravioletas, apresentam, no caso de que nos estamos ocupando, muito pouco interesse em comparação com os processos químicos. Nada diremos sobre a esterilização pelo calor pois ela não é pràticamente aplicável a massas de água tão importantes como aquelas que haverá que movimentar.

Quanto à esterilização pela electricidade, diremos que não tem obtido sucesso prático. A decomposição por electricidade duma solução de sal das cozinhas e a adição do líquido obtido à água a esterilizar, ou ainda a passagem da própria água entre dois electrodos com tensões diferentes, não representam, no fim de contas, mais que a produção de cloro e de hipoclorito, que é muito mais simples e económico adicionar-lhe directamente (sobretudo no nosso país em que o Kwh ainda tem um tão elevado preço de venda).

O único processo que mereceria reter a nossa atenção, é o que utiliza os raios ultra-violeta; é elegante, simples e tem sobretudo a vantagem de não introduzir qualquer corpo novo na água. Mas, segundo a opinião de autoridades na matéria como o «Conseil Supérieur d'Hygiène de France», apresenta muitos defeitos.

Os aparelhos de produção de raios ulttra-violeta são infelizmente delicados e, para o seu emprego em grande escala, exigem uma vigilância constante, porque:

a) A água a tratar deve ser clara, sem coloração, privada de substâncias coloidais e de matérias corantes de origem orgânica, pois os raios são muito ràpidamente absorvidos pelos corpúsculos em suspensão;

b) As lâmpadas de quartzo com vapor de mercúrio, mesmo novas, exercem efeitos bactericidas muito irregulares. É necessário controlá-las e ainda por cima, à medida que

vão sendo utilizadas, a sua eficiência diminui.

As causas de cheque são numerosas, e por isso o contrôle bacteriológico deve ser contínuo.

Por estas razões a esterilização por raios ultra-violeta não tem conseguido generalizar-se.

* * *

Passaremos portanto aos processos químicos que nos parece interessante serem detalhados, pois alguns deles são universalmente aplicáveis não sofrendo qualquer crítica fundada.

Os corpos químicos bactericidas a empregar devem, acima de tudo, não ser nem tóxicos nem mesmo prejudiciais para o homem; não devem comunicar à água qualquer gosto, cheiro, ou cor. Pràticamente hoje, para grandes volumes de água, sòmente são empregados os oxidantes, que são os que melhor respondem às condições impostas ao fim em vista, ou seja o ozono, o cloro e os compostos clorados.

* * *

Antes porém de entrarmos na apreciação do valor de tais oxidantes, parece-nos que será interessante dizer algumas palavras acerca do emprego de certos metais que encontram por vezes o seu campo de aplicação em casos particulares, e para o tratamento de quantidades de água relativamente reduzidas.

Foi em 1870 que Raulin verificou pela primeira vez que o «Aspergillus Niger» não podia desenvolver-se num vaso de prata. Desde a mais velha antiguidade, os homens observaram a acção desse metal. Hérodoto ensina-nos que o grande rei persa Cyrus que viveu há 2.500 anos, se fazia acompanhar, no decurso das suas guerras, por equipagens transportando água fervida conservada em cisternas de prata.

Naegeli em 1893 e Vincent em 1895 notaram a acção tóxica exercida sobre os microorganismos por vestígios de prata e de cobre. Esta acção tóxica, que se manifesta com muito fracas quantidades de certos metais ou dos seus sais, foi designada pelo nome de «acção oligodinâmica» por Naegeli e de «poder antiséptico» por Vincent. A primeira designação é a mais vulgarmente empregada para marcar a desproporção que existe entre a pequena quantidade de metal activo e a grandeza dos efeitos obtidos.

A primeira proposta de aplicação foi feita por Vincent, em 1894, ao ministro da guerra do seu país, preconizando o emprego, pelos exércitos, de depósitos de paredes prateadas munidos de agitadores cobertos igualmente de prata. Esta primeira proposta, que aliás não foi aceite, deu lugar, nestes últimos anos, a realizações bastante mais práticas, porque o escolho do processo Vincent, é o longo espaço de tempo necessário para obter a esterilização da água, mesmo que não haja em vista senão atingir os germens patogénicos, mais sensíveis à acção do metal que os germens banais.

Para diminuir, tanto quanto possível este espaço de tempo, Krause utilizou a prata sob uma forma especial: uma prata soprada, de estructura lamelar, incorporada num suporte conveniente, tal como pedaços de porcelana ou um filtro Berkefeld, cuja acção depurante assim se prolonga indefinidamente.

Mas, como no final, são os iões metálicos o suporte das propriedades oligodinâmicas, Krause aperfeiçoou o seu processo e tornou-o aplicável a maiores caudais introduzindo na água os iões de prata emitidos pela passagem duma corrente eléctrica num fio ou numa placa daquele metal. Todos sabem que a passagem duma corrente eléctrica através dum fio de prata servindo de anodo, dissolve esta; é nisto que se resume toda a «electro-katadinização» que permite obter mais ràpidamente uma água estéril que a simples imersão dum pedaço de prata.

A quantidade de metal necessária para esterilizar uma água poluída depende da composição química desta; certos sais, os cloretos especialmente, entravam a reacção, que depende também e sobretudo das matérias absorventes eventualmente em suspensão na água tratada.

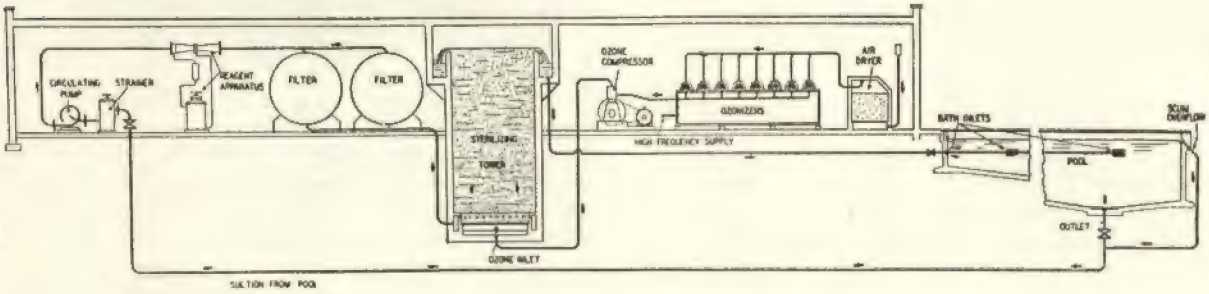
Reconheceu-se uma acção bactericida com teores da ordem do gama de prata. Krause pensa contudo que são necessários

25 gamas por litro de água límpida para se obter a sua esterilização.

Apesar desta realização prática, o domínio de aplicação do processo está limitado, em vista do tempo relativamente longo ainda necessário para com ele se obter uma esterilização perfeita. É especialmente aconselhável quando se trata de conservar a água durante muito tempo, porque se a água armazenada tornada estéril por vestígios de prata, não contém corpos extranhos em dissolução ou em suspensão, conservará a sua pureza, a presença dos iões metálicos conferindo-lhe um poder bactericida susceptível de se manifestar em caso de poluição secundária acidental.

através de um ozonizador composto de dois electrodos, separados ou não por dieléctricos, levados a um muito forte potencial (6.000 a 20.000 volts); o ar seco carregando-se de ozono pela acção do eflúvio é conduzido para os aparelhos em que se estabelecerá o contacto com a água. Conforme os ozonizadores, a concentração em ozono varia entre 2 a 40 gr por m^3. Não há porém interesse em se ter mais de 3 mmgr por litro. O que importa sobretudo, é fazer passar na água uma quantidade suficiente para uma concentração mínima de 2 mmgr por litro de ar durante 4 a 5 minutos e assegurar entre o líquido e o gás um contacto íntimo.

É esta a razão porque o ozonizador é



Fig, 1

Esquema de uma instalação de filtração e esterilização pelo ozono
«Swimming Pool Purification» da The Patterson Engineering Company Ltd, de Londres

Muitas piscinas têm a sua água purificada pela dissolução eléctrica de anodos de prata.

A esterilização pelo ozono

Este processo merece o interesse que despertou e que ainda se mantém. No seu estado natural, o ozono está sempre diluído num grande volume de oxigénio: uma molécula de oxigénio ocupando dois volumes contém dois átomos de oxigénio, uma molécula de ozono que ocupa também dois volumes contém três átomos de oxigénio. É pois uma espécie de oxigénio condensado com exaltação das suas propriedades oxidantes. Nada de estranhar é portanto que se tenha pensado em o utilizar para a esterilização das águas.

Para a sua produção, faz-se passar uma corrente de ar, que prèviamente se secou,

seguido dum aparelho onde se realiza este contacto que, no processo, reveste a maior importância. No sistema Otto — o mais frequentemente empregado —, existem dois aparelhos ligados entre si que de certo modo se tornaram clássicos. O primeiro é o emulsionador — verdadeira trompa de água que aspira o ar ozonizado. A acção do ozono sobre a água é de tal forma intensa que uma viva fosforescência se produz no momento em que a emulsão começa a fazer-se. O segundo é a coluna chamada de *self-contact:* simples coluna vertical por cuja parte inferior se faz a entrada do ar ozonizado.

Por ensaios feitos em França, reconheceu-se que eram necessários 0,5 a 1,5 gr de ozono para esterilizar 1 m^3 de água. Esta quantidade aumenta porém quando a água é rica em matérias orgânicas. Com águas turvas a esterilização é incompleta, sendo

indispensável fazer proceder a ozonização duma filtração.

Certas águas conservam, após coagulação e filtração, um cheiro e gosto a lodo ou terra. Este gosto e este cheiro são destruídos pelo ozono, a desodorização fazendo-se acompanhar também de descoloração: a água ozonizada apresenta-se com uma cor azulada que faz lembrar a das mais belas águas de nascente.

Para que todos os resultados previstos sejam atingidos no caso das piscinas: esterilização, descoloração e desodorização, seria necessário que o ozono pudesse persistir na água enquanto ela se encontra na cuva (caso do tratamento em circuito fechado), o que infelizmente não sucede.

Sem que queiramos cair num paradoxo, não andaremos muito longe da verdade, se dissermos que a esterilização da água das piscinas pelo ozono só é aconselhável, com toda a segurança, no caso de águas que não tenham necessidade de tratamento por não serem poluidas pelos banhistas.

Na realidade porém a água das piscinas está constantemente a ser poluida, carregando-se de matérias orgânicas e adquirindo cor. Nestas condições o ozono cuja acção é muito rápida, fixa-se principal e instantâneamente sobre as matérias mais oxidáveis (isto é sobre as matérias orgânicas dissolvidas), não tendo tempo de destruir todos os compostos mais resistentes: a matéria dos organismos vivos.

E, a propósito, devemos lembrar o facto de que uma esterilização incompleta é mais prejudicial que a ausência absoluta de tratamento. A célula microbiana «simplesmente ferida» reconstitui-se ràpidamente, assistindo-se então a fenómenos de revivescência, isto é, a um aumento de virulência e das faculdades reprodutoras.

É para lamentar que este processo de esterilização apresente tão grande inconveniente, pois, com as qualidades que aquele elemento possui, seria muito interessante o seu emprego nas piscinas.

Acresce ainda o facto de que o custo da exploração do processo é bastante elevado, tornando-se pràticamente proíbitivo para países em que o preço do Kwh é vendido tão elevado como em Portugal. Por esse motivo não se pode tentar remediar os inconvenientes anteriormente apontados, lançando permanentemente na água um excesso de esterilizante, pois que tal prática além do pouco sucesso que apresentaria, acarretava despesas de exploração incomportáveis.

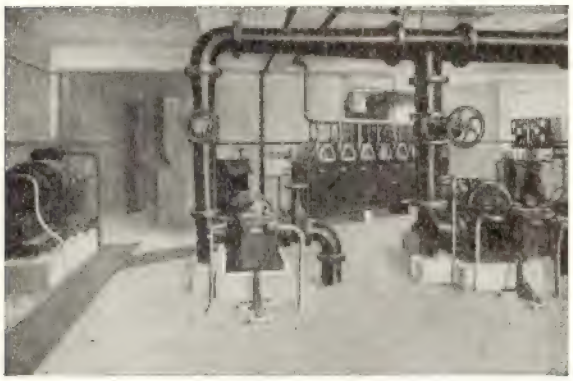


Fig. 2

Aspecto da instalação da esterilização pelo ozono da Black Rock Bath, de Brighton (Inglaterra) «*Swimming Pool Purification*», *da The Patterson Engineering Company Ltd., de Londres*

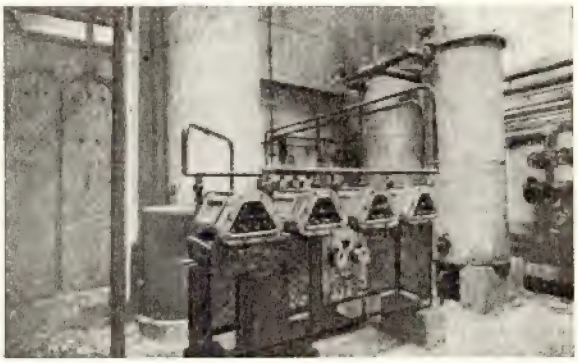


Fig. 3

Instalação de esterilização pelo ozono das águas da Piscina Municipal de Valenciennes, feita pela «*Trailigaz*» (*Société Industrielle de Traitement des Liquides et des Gaz*), *de Paris*, vendo-se no primeiro plano a bateria de ozonizadores, sistema patentado Van Der Made.
Gravura cedida pela «Revista da Ordem dos Engenheiros»

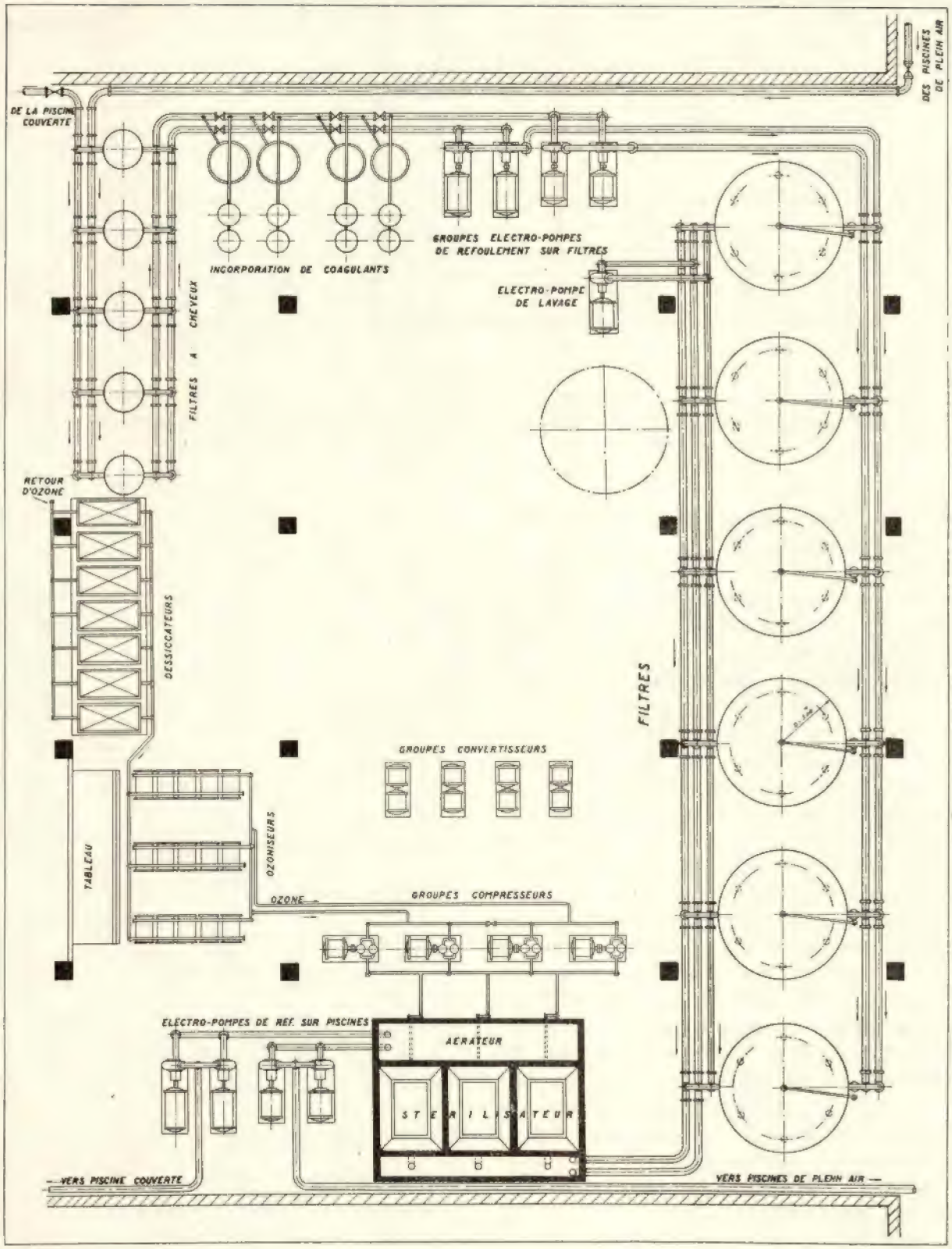

DE LA PISCINE COUVERTE
DES PISCINES DE PLEIN AIR
INCORPORATION DE COAGULANTS
GROUPES ELECTRO-POMPES DE REFOULEMENT SUR FILTRES
ELECTRO-POMPE DE LAVAGE
FILTRES A CHEVEUX
RETOUR D'OZONE
DESSICCATEURS
FILTRES
GROUPES CONVERTISSEURS
TABLEAU
OZONISEURS
OZONE
GROUPES COMPRESSEURS
ELECTRO-POMPES DE REF. SUR PISCINES
AERATEUR
STERILISATEUR
VERS PISCINE COUVERTE
VERS PISCINES DE PLEIN AIR

Fig. 4

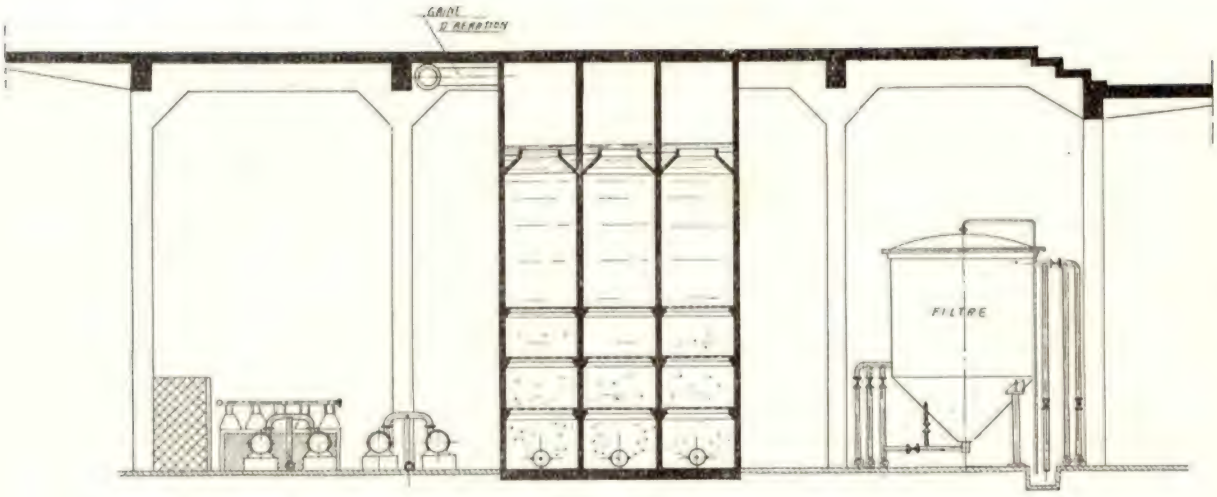


Fig. 4-A

Ante-projecto para a instalação de tratamento da água das três piscinas do Estádio Nacional, apresentado pela extinta firma Empresa de Trabalhos Metropolitanos e Coloniais «Mecotra», de Lisboa, em colaboração com a «*Trailigaz*» (*Société Industrielle de Traitement des Liquides et des Gaz de Paris*)

A esterilização pelo cloro e seus compostos

Há pois todo o interesse em utilizar um esterilizante de acção relativamente lenta, que tenha tempo para destruir as células vivas antes de ser absorvido pelos compostos indiferentes contidos na água. Se um agente de esterilização apresenta tais qualidades num elevado grau, se é industrialmente utilizável em condições simples e económicas, e se ainda além disso permite realizar *uma esterilização sem cheiro nem sabor,* pode-se dizer que se atingiu a perfeição para a solução do problema.

O emprego do cloro (sob a forma gasosa ou de hipocloritos: água de Javel, hipoclorito de cálcio), tem-se imposto universalmente em mais de 70 % dos casos, o que basta para provar que se tem mostrado plenamente eficaz e que pràticamente não tem causado acidentes dignos de menção.

Seja qual for a forma por que o cloro seja empregado, do seu contacto com a água resulta a formação de ácido hipocloroso, e é sob esta forma que ele é na realidade um tão grande bactericida.

Se se utiliza o cloro puro teremos

$$Cl_2 + H_2O \rightleftarrows Cl\,H + Cl\,O\,H$$

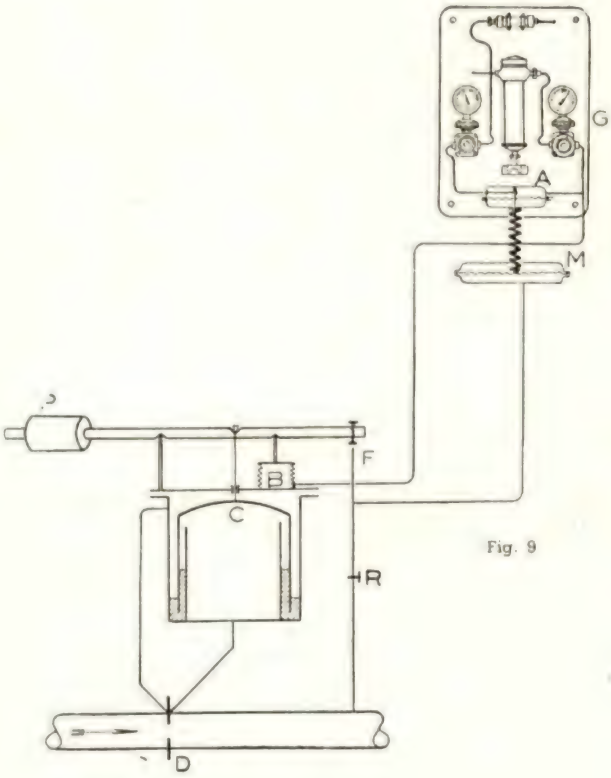


Fig. 9

Fig. 5

Clorómetro de débito proporcional

Quando se trata de esterilizar um caudal variável, é indispensável que a dose de cloro utilizada se mantenha rigorosamente proporcional àquele caudal. Utilizam-se para esse fim dispositivos de relai hidráulico ou pneumático. *Ets. Degrémont, de Paris*

Se se emprega a água de Javel a reacção é

$$ClONa + CO_2 + H_2O = ClOH + CO_3NaH$$

Este ácido hipocloroso que reage imediatamente com as matérias orgânicas contidas na água, entrado em combinação, perderá toda a sua eficácia, a menos que, tendo formado compostos instáveis, consiga libertar-se de novo, pouco a pouco, mas nunca mais atingindo a concentração inicial.

da melhoria inegável pela mistura íntima trazida ao processo de verdunização.

É indispensável insistir neste aspecto do problema, porque ainda se veem muitas instalações em que o hipoclorito se junta à água gota a gota, ou de qualquer outra forma descontínua, e ainda por cima ou directamente para um depósito, ou para uma conduta em que a água não é animada de movimentos turbilhonários. Este modo de aplicação é errado porque obriga sempre

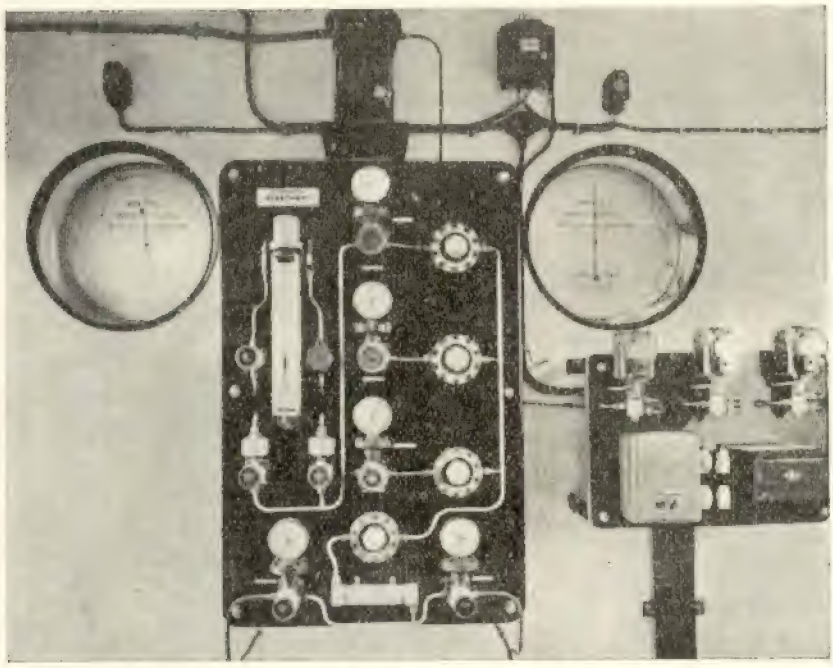


Fig 6

Clorómetro múltiplo

Quando a estação de bombagem comporta várias bombas funcionando isolada ou simultâneamente, utiliza-se um quadro distribuidor contendo os aparelhos que podem ser comuns a todas as bombas, tais como filtros de cloro, torneira de alta pressão, dispositivos de expansão, contador, e ainda um jogo de torneiras de regulação, cada uma afectando a sua bomba, assim como torneiras de automatismo, funcionando igualmente cada uma em ligação com uma determinada bomba. A gravura representa um clorómetro destinado a assegurar a esterilização automática em ligação com três grupos bomba. *Ets. Degrémont, de Paris*

Importa portanto *oferecê-lo* o mais possível aos germens antes que se tenha perdido em reacções estranhas ao fim em vista. Todo o atraso que haja numa repartição homogénea será prejudicial, porque o efeito máximo para a dose utilizada não poderá ser atingido. Tal é, estamos certos, a explicação

ao emprego de excessivas quantidades de cloro.

Se a mistura da água com o cloro não for ìntimamente feita e no próprio momento em que ela se junta à massa a tratar, as propriedades do ácido hipocloroso não serão eficazmente aproveitadas, dando-se

a seguinte reacção que elimina aquele produto:

$$2\,ClOH \rightleftarrows 2\,ClH + O_2$$

O conjunto de reacções que apresentamos permite diferentes observações:

1.º — Em primeiro lugar, sabe-se que o cloro não se conserva na água:

O ácido clorídrico formado, se bem que em dose pràticamente impossível de se perceber, é imediatamente destruído pelos bicarbonatos da água:

$$2\,ClH + (CO_3)^2 H_2 Ca \rightarrow Cl_2 Ca + 2\,CO_2 + 2\,H_2O$$

2.º — A esterilização pela água de Javel exige a presença de gás carbónico e é menos eficaz em meio alcalino;

3.º — As reacções parece indicarem que o cloro da água de Javel é duas vezes mais activo que o cloro gasoso pois que um átomo de cloro, sob a forma de hipoclorito, desenvolve tanto oxigénio como dois átomos de cloro gasoso em presença da água. Na realidade porém, é preciso não nos esquecermos que a água de Javel é um composto complexo, vendido segundo o seu grau clorométrico. Um grau clorométrico corresponde a um litro ou 3,17 gr de cloro gasoso por quilograma de hipoclorito (água de Javel ou hipoclorito de cálcio). Se a solução tem, por exemplo, o título de 12 graus clorométricos, isto não significa que ela contém 38 gr de cloro por kg, mas sòmente que a sua eficácia é comparável à de 38 gr de cloro gasoso.

Na realidade ela contém duas vezes menos pois que uma molécula de ácido hipocloroso tem a mesma eficácia que uma molécula de cloro. A água de Javel sendo sempre doseada em função deste grau clorométrico, vê-se que a equivalência com o cloro gasoso se mantém completa. E se se consome, para esterilizar certo volume de água, um litro de água de Javel a 12 graus será necessário utilizar exactamente 38 gr de cloro gasoso para esta mesma esterilização.

* * *

O cloro é destruído na água pelas matérias orgânicas que ela contém, de tal forma que ao fim de algumas horas desaparece totalmente qualquer sinal da sua existência. Se a água tem que se conservar bastante

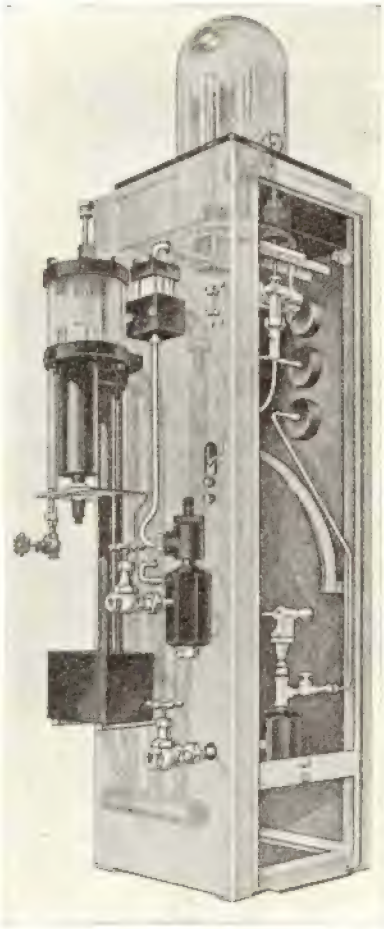


Fig. 7

Aparelho distribuidor de esterilizante (tipo MSVC-M) visto com Raios X — Technical Publication 261, de *Wallace & Tiernan Company, Inc., de New Jersey. E. U. A.*

tempo nas cuvas, ou se a afluência de banhistas for grande, são de receiar as contaminações, e neste caso é necessário esterilizá-la com um produto suficientemente estável para se obter uma água verdadeiramente antiséptica durante bastante tempo.

Atinge-se tal finalidade introduzindo também na água uma certa dose de amoníaco. Os dois reagentes unindo-se dão origem a compostos denominados cloraminas — mono, di e tricloramina —, cuja proporção respectiva depende da concen-

tração dos dois constituintes e do *pH* do meio.

As reacções produzidas são:

$$2\,NH_3 + Cl_2 = Cl\,N\,H_4 + Cl\,N\,H_2 \text{ (mono)}$$

$$3\,NH_3 + 2\,Cl_2 = 2\,Cl\,N\,H_4 + Cl_2\,N\,H \text{ (di)}$$

$$3\,NH_3 + 3\,Cl_2 = 3\,Cl\,N\,H_4 + Cl_3\,N \text{ (tri)}$$

Os primeiros ensaios deste interessante processo efectuaram-se de 1915 a 1918, tendo-se chegado à conclusão de que a adição do amoníaco antes da do cloro diminuía ou suprimia o gosto e cheiro por este provocados; que tornava a esterilização mais lenta, o que tinha como consequência torná-la mais completa do que a obtida pelo cloro, quando sòzinho, e até mesmo que ela se conseguia com uma dose inferior.

O potencial de oxidação das cloraminas é menos elevado que o do cloro; por consequência, estes compostos não reagem tão depressa nem tão ìntimamente como ele com as matérias orgânicas. As duas principais consequências deste abaixamento do potencial de oxidação, que resumem as vantagens do processo, são por um lado, a eliminação do gosto clorado (1) e por outro a conservação na água duma reserva bactericida de cloro. As cloraminas ainda que pouco dissociadas em ácido hipocloroso, são-no o suficiente para tornarem impróprio à vida microbiana, o meio em que se encontrem.

Há duas formas de juntar o amoníaco:

Antes do cloro, é a técnica da «preamonização» especialmente indicada para os casos de águas de consumo, visto que também se pretende evitar o gosto e o cheiro.

Mas se a água a tratar não contém matérias susceptíveis de, com o cloro, lhe darem o tal gosto, pode-se juntar-lhe o amoníaco depois do cloro, isto é fazer-se a «postamonização». É este o método empregado para o tratamento da água das piscinas. A percentagem normalmente usada é 1/4 a 1/2 da dose de cloro.

A vantagem deste método reside no facto

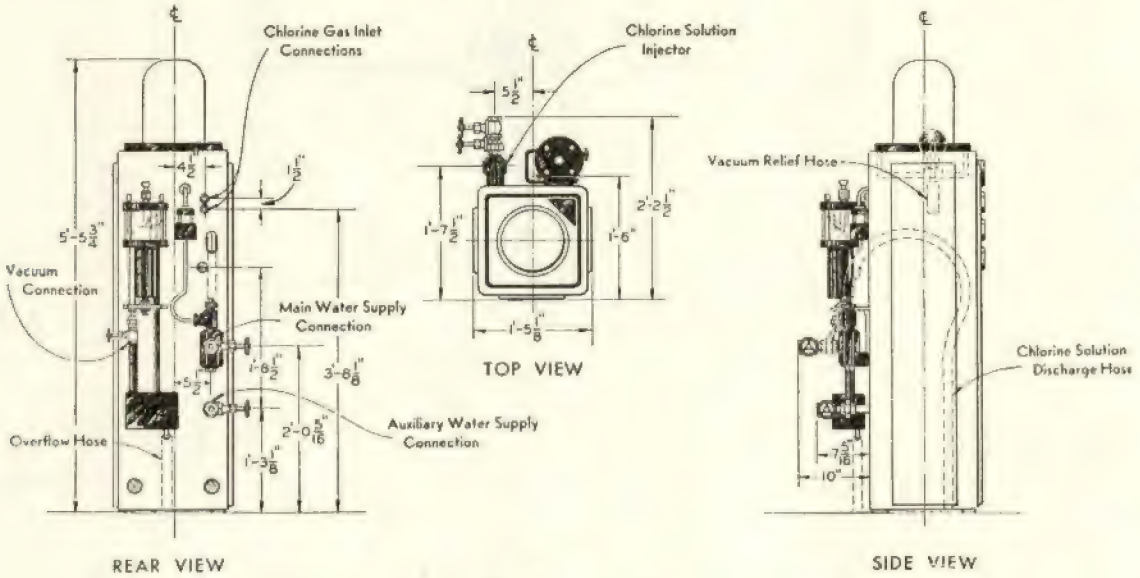


Fig. 8

Esquemas vários do aparelho distribuidor de esterilizante (tipo MSVC) — Technical Publication 261, de *Wallace & Tiernan Company, Inc., de New Jersey. E. U. A.*

(1) O cloro apresenta por vezes o grave inconveniente de dar à água um gosto desagradável (*fénico*, como vulgarmente se diz) bastando para isso que existam vestígios de fenol na água ou nas substâncias com que a canalização for protegida contra a oxidação (alcatrão, por exemplo), ou ainda que na água existam certas algas, cuja destruição pelo cloro provoca um gosto a iodofórmio.

de que se utiliza primeiramente a acção da totalidade do ácido hipocloroso, pois que se mantém o excesso sob uma forma de que

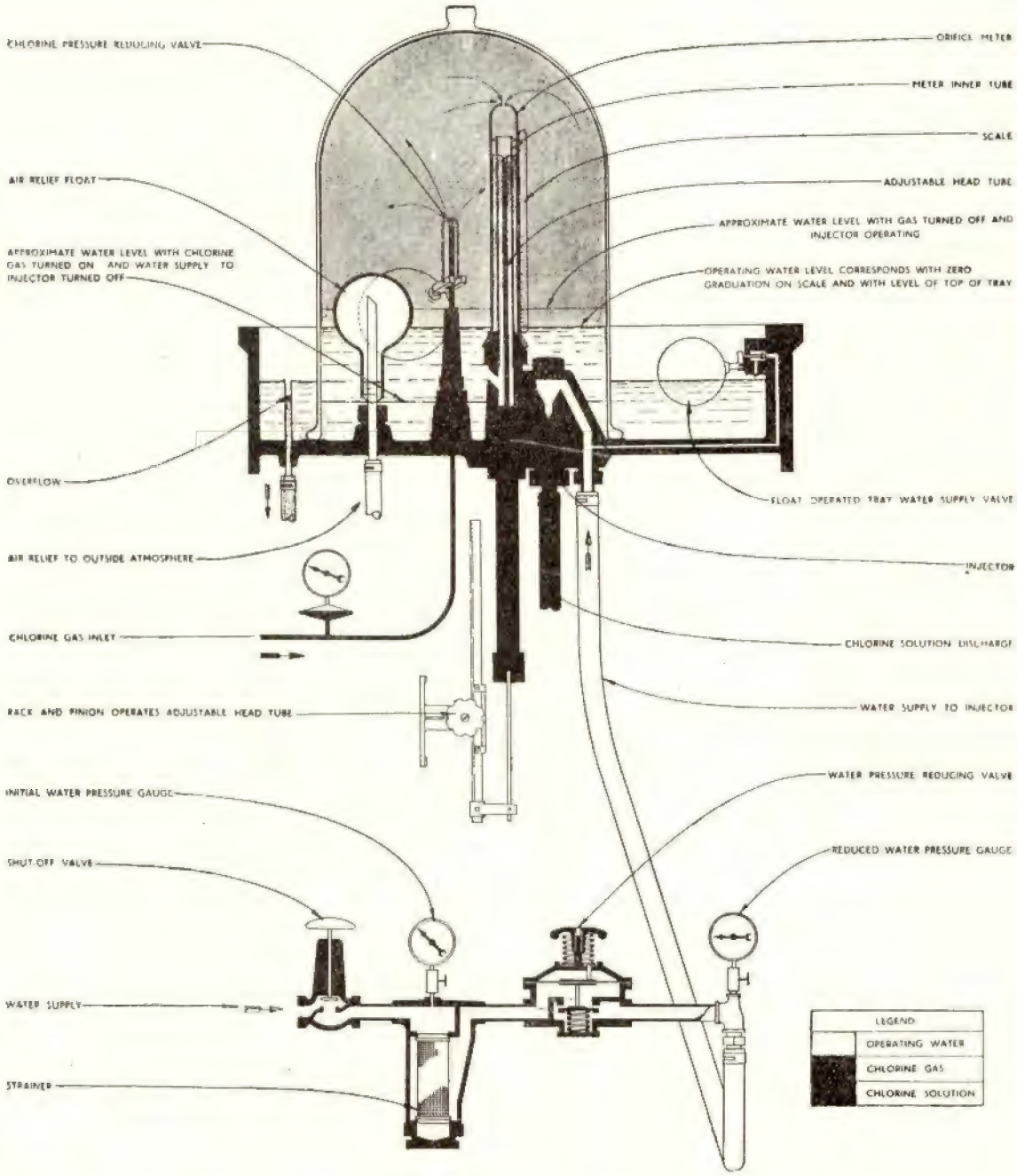


Fig. 9

Esquema descritivo do funcionamento de um distribuidor de esterilizante — Technical Publication n.º 38 B, de *Wallace & Tiernan Ltd., de Londres*

ele se libertará pouco a pouco. A água assim tratada é esterilizada e esterilizante, podendo misturar-se com águas não tratadas, enquanto que sòmente com o cloro, tal resultado não seria obtido senão com a adição duma dose muito mais elevada, visto o seu mais rápido desaparecimento. Qualquer dos processos se põe em prática juntando quantidades variáveis de

cloro e de amoníaco. Quanto maior for relativamente a quantidade de amoníaco, mais lenta é a acção bactericida. Inversamente, aumentando a quantidade relativa de cloro, é possível obter uma esterilização tão rápida como se ele estivesse sòzinho, mas então não desaparecerá o tal mau gosto.

As três espécies de cloraminas formam-se com predomínio marcado da monocloramina, a di e tri produzindo-se em meio nìtidamente ácido.

Estes compostos são estáveis na água durante pelo menos 4 dias, sendo totalmente inofensivos para a saúde dos banhistas.

Além disso as cloraminas são absolutamente inódoras e insípidas, mesmo se na água se contiver um ligeiro excesso.

Pràticamente, a esterilização por cloramina leva-se a efeito juntando ao distribuidor de cloro um aparelho de concepção exactamente igual para a distribuição de amoníaco, diferindo apenas na qualidade do metal com que é fabricado o dispositivo de absorpção.

* * *

Certas algas transportam esporos que se desenvolvem em seguida nas cuvas e até mesmo nas canalizações.

A destruição destes esporos é difícil porque a sua muito grande resistência exigiria uma distribuição excessiva de cloro.

Contudo, se tais esporos são pouco sensíveis ao cloro, são-no enormemente a certos iões metálicos e em especial aos iões cobre que os destroem, mesmo em doses infinitesimais, se o cobre se encontra na água ao mesmo tempo que o cloro. Trata-se então duma acção específica do cobre sobre certas diastases das células microbianas.

Obtém-se assim uma esterilização completa e a destruição de todas as algas.

O processo do cloro-cobre consiste em fazer passar a água clorada, saindo do clorómetro (antes da introdução na água a tratar), num depósito especial contendo aparas de cobre. A água clorada carrega-se então suficientemente de cobre para que a destruição dos esporos seja total.

Este processo, muito simples, é interessante para o tratamento da água das piscinas abertas.

* * *

O bióxido ou peróxido de cloro tem sido utilizado desde há muito para a esterilização das águas, mas as dificuldades da sua preparação opunham-se a uma utilização industrial.

Actualmente pode-se, com muita facilidade e sem perigo algum, prepará-lo em solução, por simples mistura dum soluto de clorito de sódio preparado separadamente, e de água clorada fornecida por um clorómetro

$$2\ Cl\ O_2\ Na + Cl_2 = 2\ Cl\ Na + 2\ Cl\ O_2$$

O bióxido de cloro é um oxidante extremamente enérgico, que permite destruir muito ràpidamente o mau sabor ou cheiro das águas, sem que no entanto seja denunciável ao paladar.

* * *

O cloro, e acabamos de o verificar mais uma vez, tem sido sempre considerado como o principal agente esterilizante das águas. Era e é, como vimos, empregado actualmente no estado gasoso, de hipoclorito alcalino ou alcalino-terroso, de cloramina, etc.

Só há poucos anos porém é utilizado sob a forma de ácido hipocloroso, que, segundo afirmam muitos, que têm empregado o processo, se revelou um bom agente esterilizante, bactericida e algicida.

Esta constatação, já feita no decorrer destas notas, fora verificada teòricamente, a literatura demonstrando muitas vezes que a actividade bactericida e algicida dos compostos clorados oxidantes, se deve sobretudo à formação numa fase intermediária, do ácido hipocloroso. Ora, a presença deste corpo activo não resulta senão de reacções parciais, regidas pela lei de acção das massas. Por consequência, a concentração em ácido hipocloroso é muito limitada, a formação de novas porções, após um começo de esterilização, sendo lenta e a acção oxidante dos compostos clorados enumerados não

podendo ser senão progressiva, muitas é vezes incompleta.

* * *

O ácido hipocloroso actua sobre a matéria orgânica viva (micróbios, algas, vermes, animais minúsculos, etc.) como sobre a matéria orgânica privada de vida e putrescível, por um duplo fenómeno de sobreoxidação intensa ou de deshidrogenação, causando ràpidamente a morte, a destruição ou a transformação das matérias orgânicas putrescíveis em corpos mais estáveis.

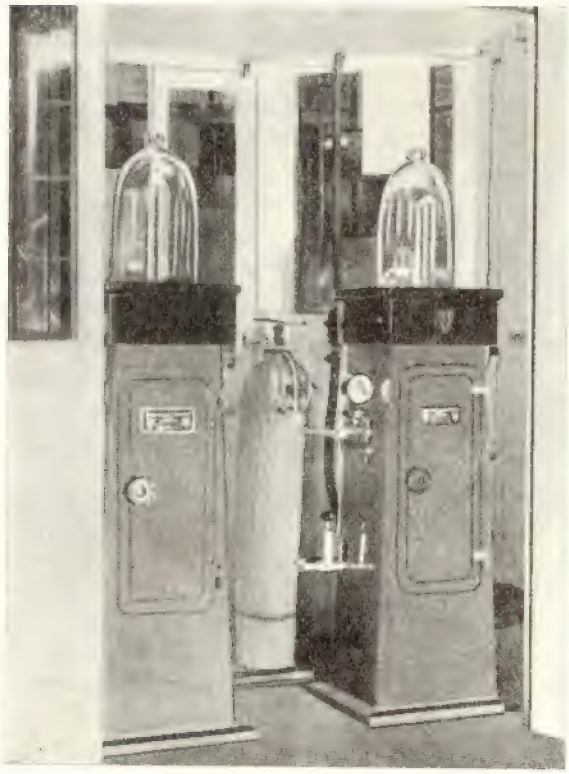


Fig. 10

Instalação dupla de aparelhos distribuidores de esterilizante em Kensington Baths (Inglaterra) — Technical Publication n.º 38 B de *Wallace & Tiernan Ltd., de Londres*

Era lógico recorrer ao emprego directo de tal ácido, procurando um método prático de obtenção deste agente esterilizante sob uma forma suficientemente concentrada e estável para poder ser còmodamente manipulado.

Foi o que, segundo se diz nas publicações que temos presente, se conseguiu realizar nos laboratórios da sociedade «Solvay & Cie», o processo e aparelhagem estando a ser utilizado nalgumas dúzias de piscinas, especialmente da Bélgica.

Pelas informações que temos recebido, parece poder-se afirmar que, dos reagentes oxidantes químicos, o ácido hipocloroso injectado directamente é um eficaz agente bactericida, algicida e desodorizante.

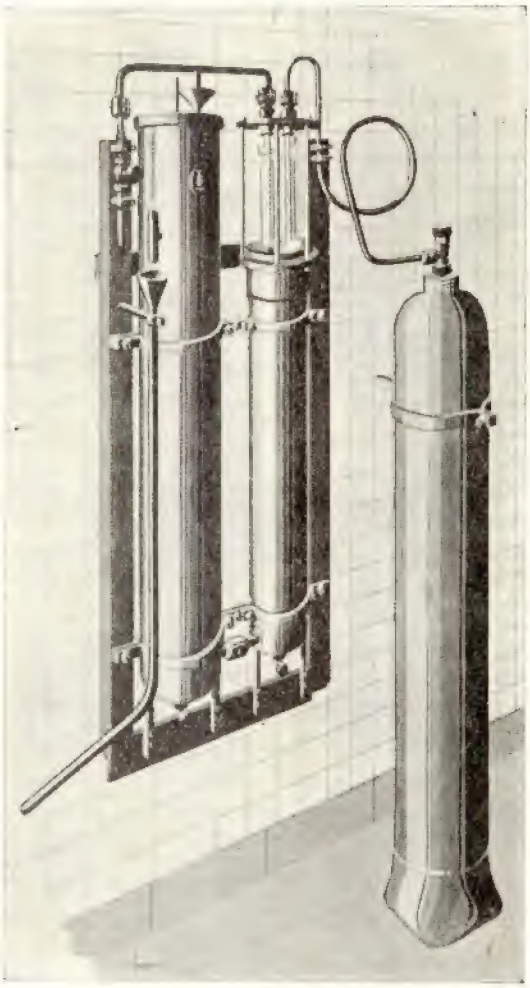


Fig. 11

Aparelho produtor de ácido hipocloroso
Solvay & Cie, de Bruxelles

A sua acção rápida e prolongada permite a esterilização e a estabilização das águas contendo patogéneos, micro-organismos diversos e materiais putrescíveis. Mata os ger-

(1) Gilbert de Smet — Stérilisation des eaux par l'acide hipochloreux em *La Technique de l'Eau* — Maio de 1947.

mens infecciosos, as criptogâmicas microscópicas, tais como as algas, ataca as matérias orgânicas que transforma total ou pelo menos superficialmente (depende do seu volume), em corpos imputrescíveis.

A acção imediata e maciça, condição necessária para impedir com toda a segurança uma putrefacção, é mais dificilmente obtida com os outros derivados clorados que exigem uma duração mais longa de

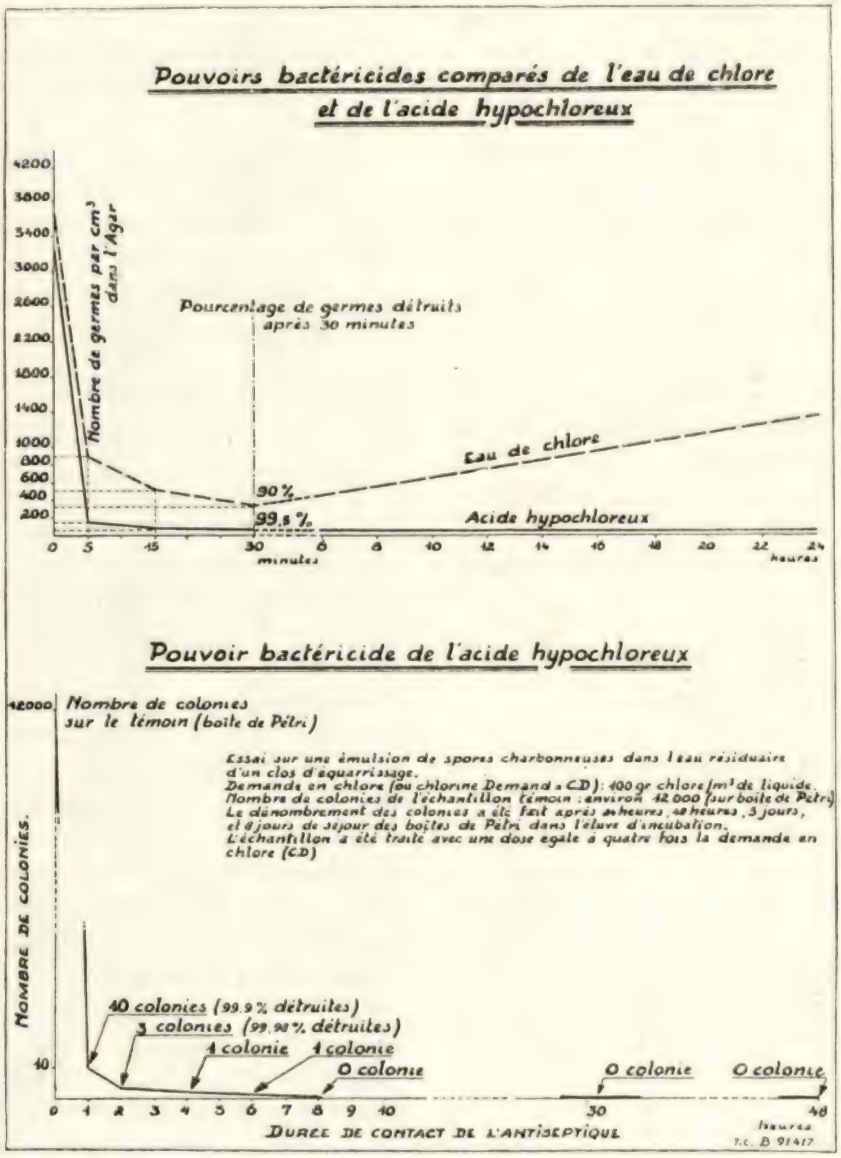


Fig. 12

O diagrama superior serve para comparar o poder bactericida da água de cloro com o do ácido hipocloroso, e o inferior demonstra o poder bactericida deste ácido.
Solvay & Cie, de Bruxelles

Não sendo um agente de floculação, ajuda a fazê-la, preparando-a. É também um bom desodorizante porque destrói ràpidamente os produtos gasosos nauseabundos da putrefacção, em especial o hidrogénio sulfurado e outros gases fétidos.

contacto, e facto curioso, a acção do ácido hipocloroso é mais prolongada que a deles.

O diagrama que se apresenta, elaborado sobre estudos feitos pelo «Hygienische Institut der Anhaltischen Kreise» de Dessau mostra a superioridade de poder bactericida

do ácido hipocloroso em comparação com o da água de cloro.

A instabilidade do ácido hipocloroso obriga a fabricá-lo no local de aplicação, e a preparar de manhã a quantidade de solução esterilizante precisa para as necessidades do dia. Esta forma de utilização suprime pràticamente toda a vigilância durante a injecção, o que o emprego do cloro gasoso não permite.

As reacções de fabrico são as seguintes: Quando se dissolve o cloro na água, forma-se ácido hipocloroso, segundo a equação de equilíbrio

$$Cl_2 + H_2O \rightleftarrows Cl\,O\,H + Cl\,H \quad . \; . \; (1)$$

Esta equação é limitada pelo equilíbrio químico, de forma que a quantidade de ácido hipocloroso produzida é sempre fraca em relação ao cloro que fica em solução no líquido. Em virtude da lei da acção das massas, o coeficiente de equilíbrio é definido pela relação

$$K = \frac{[Cl\,O\,H]\,[Cl\,H]}{[Cl_2]}$$

Este coeficiente é uma constante para uma dada temperatura e pressão.

Por consequência, se para uma concentração constante em cloro dissolvido, se quer aumentar o ácido hipocloroso há que diminuir o ácido clorídrico. É o que se produz na coluna de mármore do aparelho Solvay, onde este ácido é neutralizado pelo carbonato de cálcio segundo a reacção:

$$2\,Cl\,H + C\,O_3\,Ca = Cl_2\,Ca + H_2\,O + CO_2 \quad . \; (2)$$

No referido aparelho a altura de saída do líquido esterilizante regula a duração da reacção na coluna de mármore de forma tal que, o *pH* da solução que sai, não pode descer além de 4,0; em presença do ácido hipocloroso o carbonato de cálcio não pode fazer subir o *pH* além de 5,5. Este está pois compreendido entre 4 e 5,5, valores a que corresponde precisamente a transformação aproximadamente total de cloro activo da solução em ácido hipocloroso. Disto resulta a acção esterilizante maciça, enérgica e isenta de reacções parasitas de cloração, obtida com o líquido fornecido.

* * *

A fabricação do ácido hipocloroso faz-se em princípio em duas fases.

a) A acção do cloro sobre a água segundo a reacção (1) a que já nos referimos. Esta primeira reacção faz-se na primeira coluna em presença das matérias inertes.

b) A neutralização do ácido clorídrico (2) formado após a reacção de princípio:

$$2\,Cl\,H + 2\,H_2O + CO_3Ca \rightarrow 2\,Cl\,OH + Cl_2Ca + CO_2 + H_2O$$

A duração de contacto entre o reagente e a água de cloro é tal que o *pH* do licor que sai é compreendido entre 4 e 5,5. Aquem disto, há mais depressa produção de água de cloro, além disto, de hipoclorito de cálcio.

Os distribuidores de cloro e de água são concebidos de forma a evitar que o orifício de saída do cloro seja afogado durante a posta em marcha, a marcha e a paragem. Graças a este artifício e ao dispositivo de segurança, é impossível qualquer retorno de líquido para a garrafa de cloro.

O dispositivo de segurança consiste numa saída automática para o ar evitando o retorno da água no tubo de chegada do cloro por rarefacção quando da paragem. Esta saída para o ar está colocada, como vimos, na chegada da água e é automática. Evita-se desta forma a emanação de bafuradas de cloro para a atmosfera pela saída para o ar anteriormente colocada sobre a chegada do cloro.

* * *

O emprego do ácido hipocloroso evita a introdução de cloro livre nas águas a tratar.

A acção do deste reagente prolonga-se e torna as águas esterilizantes suprimindo o perigo de contágio infeccioso de banhista para banhista.

Transforma a maior parte dos compostos da urina em uratos inofensivos.

Dá frescura à água pelo oxigénio nascente libertado e clarifica-a destruindo as algas.

* * *

Para terminar este despretencioso trabalho, em que nunca tivemos em vista fazer ciência, mas sim apenas reunir elementos colhidos aqui e além para formar um conjunto de notas cuja consulta talvez seja interessante para quem (não sendo também especializado em química) amanhã queira ter uma ideia, embora vaga, sobre os processos usados na esterilização da água das piscinas, parece-nos estar indicado, dizer alguma coisa sobre a forma de aplicar o

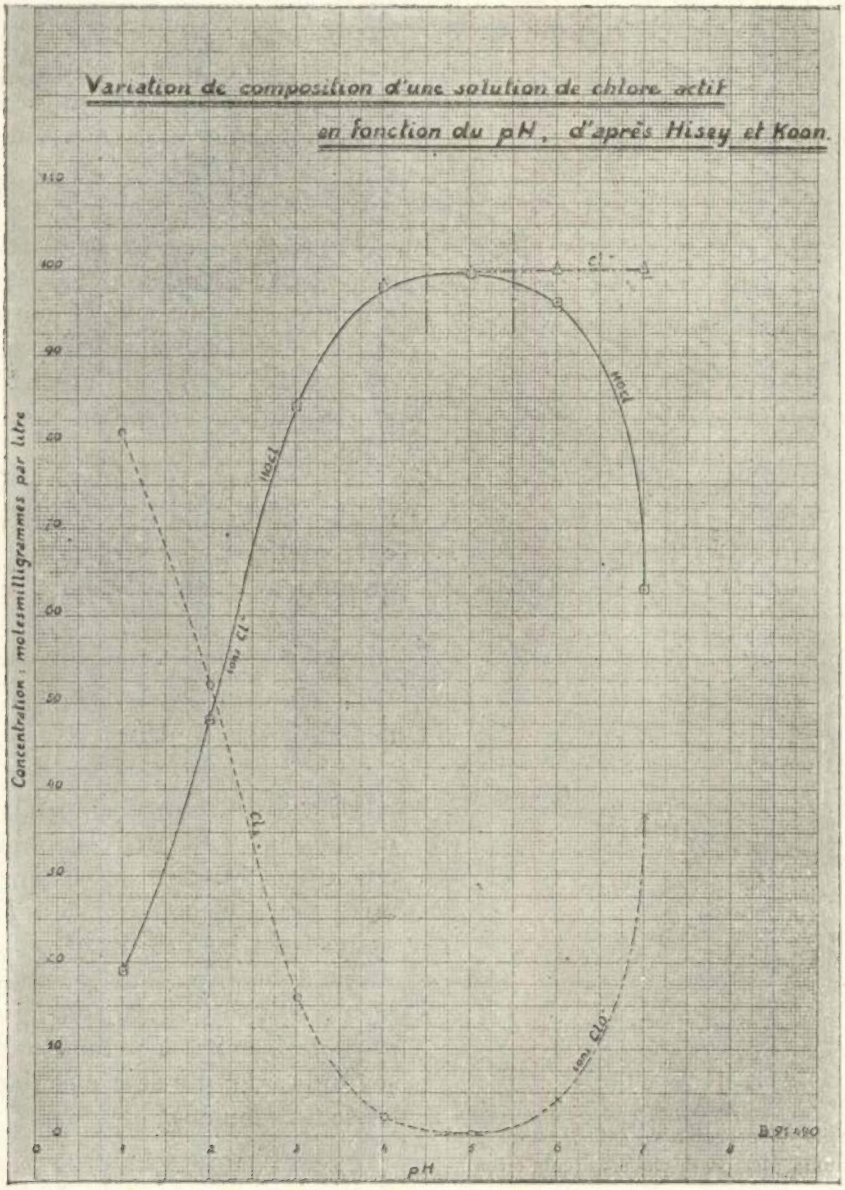


Fig. 13

Variação da composição duma solução de cloro activo em função do pH, segundo Hisey e Koon — *Solvay & Cie, de Bruxelles*

processo do ácido hipocloroso, que supomos ser dos menos conhecidos entre nós.

Encararemos duas hipóteses:

Piscinas com circulação de água — Para tratar a água destas piscinas introduz-se o

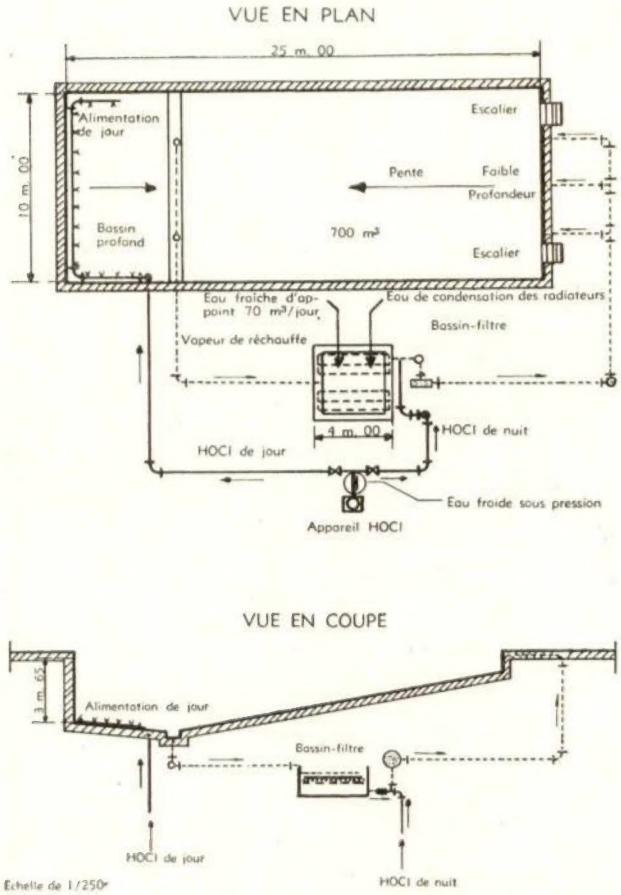


Fig. 14

Esquema de aplicação do processo de esterilização pelo ácido hipocloroso numa piscina descoberta (com circulação) — *Solvay & Cie. — Bruxelles*

licor esterilizante por injecção contínua em fraca dose.

O princípio repousa nas seguintes observações:

a) As águas empregadas para as piscinas com circulação transportam muito poucas matérias em suspensão ou em solução;

b) Um teor residual permanente de 0,2 a 0,3 gr do elemento activo esterilizante, calculado em cloro activo por m³ de água na piscina, assegura não sòmente a esterilização mas confere à água um poder esterilizante activo. É suficiente para proteger os banhistas contra a contaminação patogénica pela vizinhança dos infectados. Ao mesmo tempo opõe-se à vida das algas no seio das águas.

Para se conseguir este resultado o consumo diário em ácido hipocloroso é fraco, cifrando-se aproximadamente em 1 gr de cloro activo por m³ de cuva. A verificação do excesso faz-se em menos de 10 minutos por um método simples, ao alcance de toda a gente.

A experiência mostra que se obtém a melhor difusão do licor antiséptico na água e o melhor efeito esterilizante e algicida quando a injecção é feita em dois pontos:

— No grande fundo da cuva;

— Na canalização de alimentação, depois dos filtros.

Esta última injecção é feita na aspiração da bomba se ela estiver colocada a seguir aos filtros. Tal forma de proceder permite misturar o licor introduzido, realizando assim uma «verdunização».

As duas injecções fazem-se simultâneamente se a circulação da água se suspende durante a noite, a primeira faz-se de dia e a segunda à noite se a circulação é contínua (sistema alemão).

Piscinas sem circulação — Para tratar a água destas piscinas, e é esta a hipótese que se nos afigura mais interessante no estado em que actualmente se encontra grande número das nossas instalações, recorre-se à injecção intermitente, em doses maciças; a acção, ainda que instantânea, sendo prolongada pelo excesso de cloro activo introduzido.

Seria, com efeito, difícil injectar o licor esterilizante duma forma permanente numa grande cuva, ao ar livre, sem circulação

nem filtro. Uma concentração progressiva em reagente nas águas seria para receiar em consequência da falta de difusão e de circulação.

O processo consiste em injectar, após o encerramento dos banhos, por meio dum aparelho especial, uma dose maciça de licor esterilizante, de maneira uniforme, sobre o fundo da cuva e nos cantos. A dose é da ordem de 1 a 1,5 gr de cloro activo por m^3 de água da cuva. A verificação da manhã seguinte deve revelar a presença dum teor residuário em cloro activo de 0,2 a 0,3 gr por m^3.

O licor espalhado no fundo da cuva actua de baixo para cima, mata os micróbios patogénicos e as algas, destaca o mucus

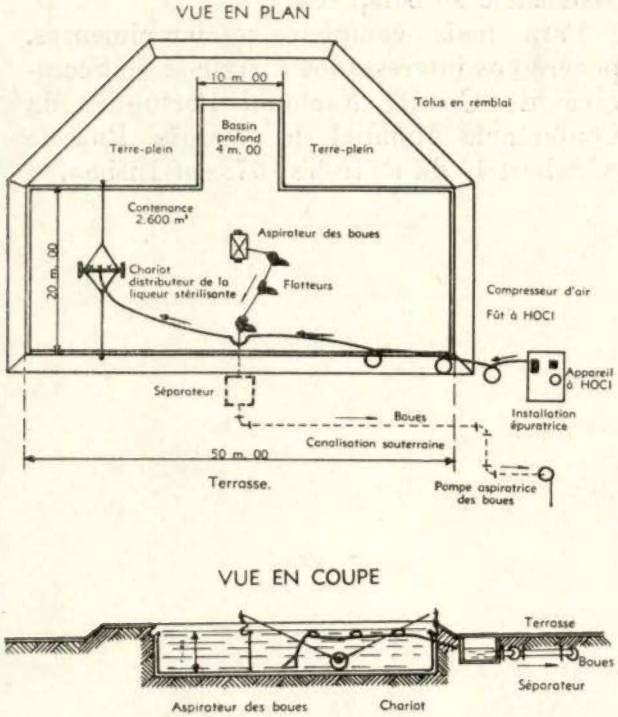


Fig. 15

Esquema de aplicação do processo de esterilização pelo ácido hipocloroso numa piscina descoberta (sem circulação) — *Solvay & Cie. — Bruxelles.*

colado às paredes, e ajuda a decantação das matérias em suspensão destruindo as bolhas gasosas que as sustêm.

Em caso de forte desenvolvimento de algas e de vermes (após um período de encerramento do estabelecimento, por exemplo) não se deve receiar recomeçar o tratamento com uma primeira dose muito forte de cloro activo da ordem de 5 gr por m^3.

A decantação faz-se de noite, o levantamento das lamas far-se-á de manhã e a água assim tratada não tem necessidade de ser renovada no decurso duma época conservando-se esterilizada e fresca.

O tratamento da água deste género de cuvas exige o emprego de todo um material auxiliar para fazer a injecção do licor e para retirar as lamas. A injecção no fundo faz-se por um distribuidor sobre carrinho que se arrasta por um sistema de vai-vem. O licor fabricado pelo aparelho instalado em qualquer sítio, é armazenado num tambor de onde é enviado por pressão para o distribuidor, a tubagem sendo flexível.

A sucção das lamas depositadas faz-se pelo sistema já conhecido.

* * *

O fim em vista com o tratamento pelo ácido hipocloroso é esterilizar bacteriològicamente as águas e ajudar a sua clarificação matando as algas. Como acção secundária favorece, como já dissemos, a decantação, mas tal tratamento não pode substituir os filtros ou o tratamento floculizador.

Para as cuvas sem circulação nem filtros é recomendável fazer de tempos a tempos um trataments de coagulação, lançando na água uma solução de sulfato de alumínio pulverizado.

* * *

E eis, muito resumidamente, os principais processos de esterilização da água de piscinas. A técnica actualmente não tem, estamos certos, qualquer dificuldade em resolver seja que problema for dos que neste aspecto especial do tratamento de águas se lhe apresente.

O nosso trabalho tem certamente muitas lacunas, sendo incompleto e imperfeito. Já dissemos que não era nossa ideia alar-

dear ciência, mas sim apenas apresentar uma colectânea de notas, cuja leitura, esperamos não enfade, e que sirva de guia para estudo mais profundo da solução que interesse ao leitor.

Se conseguimos atingir o fim em vista, damo-nos por muito satisfeitos, e atrever-nos-emos a abordar outros aspectos do problema da construção, utilização e exploração das piscinas, em próximos artigos.

QUARTA CONFERÊNCIA MUNDIAL DA ENERGIA

De 10 a 15 de Julho do ano corrente realizar-se-á em Londres uma conferência sobre «Recursos mundiais e produção da energia».

Será a primeira reunião plenária da Conferência Mundial da Energia após a sessão que teve lugar em Washington, em 1936.

Em seguida ao termo da conferência, e com início em 17 de Julho, serão organizadas excursões a instalações de carácter técnico. Os itinerários estão previstos para que os congressistas possam apreciar regiões de interesse turístico e histórico da Grã-Bretanha.

A cotização, quer dos membros da conferência, quer das pessoas que os acompanham, é de 6 libras esterlinas, e permitirá a aquisição dos trabalhos apresentados e a assistência ao banquete.

Para mais completos esclarecimentos, poderão os interessados dirigir-se ao Secretário do Comité Nacional Português da Conferência Mundial da Energia, Rua de S. Sebastião da Pedreira, 37, em Lisboa.